Drs. Abdur Rachim
ILMU FALAK
DISUSUN UNTUK
PROGRAM STUDI
SARJANA MUDA
FAKULTAS SYARI'AH
Penerbit : LIBERTY, YOGYAKARTA

ILMU FALAK

oleh :

DRS. ABD. RACHIM

Penerbit : LIBERTY, YOGYAKARTA.

ILMU FALAK
oleh : Drs. Abd. Rachim
Dosen Fakultas Syari'ah
IAIN Sunan Kalijaga
Yogyakarta.

EDISI PERTAMA,
Cetakan Pertama, 1983.

Penerbit :
LIBERTY, YOGYAKARTA
Jayengprawiran 21, 23,
Yogyakarta.

Pusat Penjualan :
Toko Buku "DOMINAN"
Jagalan 4, Telp. 88904
Yogyakarta.

CV. BINA USAHA
Jayengprawiran 16, Telp. 2908.
Yogyakarta.

Fakultas Syari'ah
IAIN Sunan Kalijaga
Jl. Laksda Adisucipto, Telp. 2840
Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Telah lama dicitakan lahirnya buku "ILMU FALAK", yang dapat dipergunakan sebagai pegangan para mahasiswa, dalam menyelesaikan program studi pada Fakultas Syari'ah dan sebagai pedoman bagi para pejabat di Kantor Peradilan Agama, dalam mempersiapkan perhitungan-perhitungan Ilmu Falak.

Cita-cita itu menarik perhatian sedemikian rupa, sehingga penyusun berusaha untuk mewujudkannya, dengan mengumpulkan kembali catatan, buku-buku pegangan dan memusatkan ingatan kembali, agar mampu mengungkap kegiatan-kegiatan, yang pernah dilakukan selama penyusun diserahi tugas sebagai asisten Dosen dalam mata kuliah Ilmu Falak, pada Fakultas Syari'ah dan pengalaman selama menjadi anggauta Badan Hisab dan ru'yah Departemen Agama.

Pengalaman penyusun menghadiri Konfrensi Kalender Islam Internasional di Istambul, di Tunis dan Al Jazair, ikut memperkuat cita-cita untuk selekasnya mewujudkan buku ini, mengingat bahwa usaha terciptanya kalender Islam Internasional itu tidak cukup hanya dengan permusyawaratan-permusyawaratan saja, tanpa didukung oleh kematangan Intelijensi di kalangan ummat Islam sendiri.

Itulah sebabnya maka penyusun berusaha keras mewujudkan buku Ilmu Falak, yang isinya kira-kira memadai untuk cita-cita itu, yang disusun sesuai dengan sillabus mata kuliah Ilmu Falak program studi Sarjana Muda pada Fakultas Syari'ah, seluruh IAIN di Indonesia; dengan harapan agar buku ini dapat memberi tuntunan kepada semua pihak yang melibatkan diri dalam kegiatan menghitung awal waktu shalat, arah kiblat, bayangan benda langit yang searah dengan kiblat dan penentuan awal bulan qamariah.

Untuk memudahkan para pembaca mengenal istilah Ilmu Falak, buku ini dilengkapi gambar-gambar, yang dapat meragakan konsep-

konsep Ilmu Falak, garis edar benda langit, bola langit, peta geografis yang dapat menggambarkan pembagian waktu Daerah yang berlaku di Indonesia.

Dalam menyelesaikan perhitungan Ilmu Falak tidak dapat dihindari penggunaan Ilmu Ukur Segitiga Bola, maka buku ini juga memuat tuntunan untuk memahami konsep dan kaedah Ilmu Ukur Segitiga Bola, serta jalan-jalan memahami pembuktian rumus yang dipergunakan dalam menyelesaikan perhitungan Ilmu Falak, agar para pembaca memahami kebenaran rumus itu.

Dengan terwujudnya Buku ini, Penyusun mengucapkan terima kasih kepada segala pihak yang ikut membantu lancarnya Penerbitan, terutama pada Penerbit yang telah berusaha dengan sekuat-kuatnya, hingga buku ini terbit sebagaimana diharapkan. Dan dengan diterbitkannya buku ini diharapkan minat para mahasiswa dalam mempelajari Ilmu Falak tambah berghairah; dan kesukaran-kesukaran yang dialami oleh para pejabat di kalangan Kantor Peradilan Agama dalam menunaikan tugas dapat berkurang, begitu pula yang dialami pihak-pihak yang melibatkan diri dalam kegiatan hisab.

Tidak kurang pentingnya penyusun mengharapkan saran-saran perbaikan dan kritik membina dari para pembaca, yang sangat penting artinya bagi peningkatan dan pengembangan Ilmu Falak ditanah air kita tercinta ini.

Yogyakarta, 17 Agustus 1983

Wassalam;
Penyusun

DRS. ABD. RACHIM

DAFTAR ISI :

Halaman

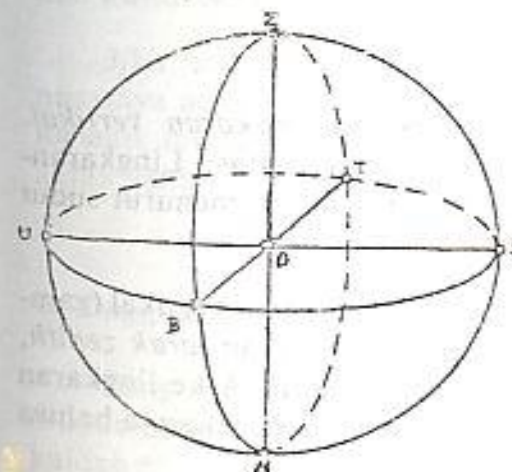
BAB I
PENDAHULUAN

1. Gerak Harian

Setiap hari kita lihat matahari terbit di kaki langit sebelah Timur, lalu bergerakan makin lama makin tinggi, hingga akhirnya pada tengah hari mencapai tempat kedudukannya yang paling tinggi pada hari itu. Setelah itu ia meneruskan perjalanannya, tempatnya di langit makin lama makin rendah, dan pada senja hari kita lihat ia terbenam di ufuk sebelah Barat.

Titik tertinggi yang dicapai matahari dalam perjalanan hariannya itu dinamakan *titik rembang* atau *titik kulminasi;* waktu itu matahari dikatakan sedang merembang atau berkulminasi.

Langit tempat matahari bergerak itu, kita lihat terbentang di atas kepala kita, sama jauhnya ke semua arah; oleh karena itu menimbulkan kesan, seakan-akan berbentuk seperdua bola. Bagian lain bola langit itu tidak tampak oleh kita, karena terletak di bawah batas penglihatan kita.

Lingkaran pada bola langit, yang merupakan batas di antara belahan langit yang tampak dan belahan langit yang tidak tampak oleh kita, dinamakan *lingkaran horizon*. Jalan yang ditempuh oleh matahari dalam perjalanan hariannya, berbentuk lingkaran pula.

Gambar 1

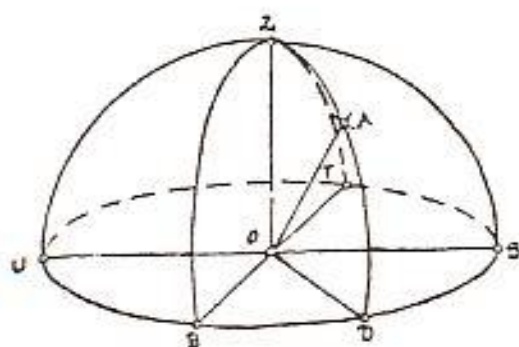
Lingkaran tempuhan harian matahari dibagi oleh horizon atas dua bagian, yaitu bagian yang di atas ufuk yang kita namakan busur siang, dan bagian yang di bawah horizon kita namakan busur malam.

2. Lingkaran Vertikal

Umpamakanlah, bahwa pada tempat kita berdiri di atas bumi, kita dirikan sebuah garis tegak lurus, misalnya dengan pertolongan sebuah unting-unting. Dalam khayal kita, garis itu kita perpanjang arah ke bawah; ia akan melalui pertengahan bumi, selanjutnya akan menembus bumi, dan akhirnya mencapai bolalangit pada suatu titik yang kita namakan *titik nadir*. Jika diperpanjang arah ke atas, garis itu akan mencapai bolalangit tepat di atas kepala kita pada suatu titik yang kita namakan *titik zenith*.

Garis yang menghubungkan titik zenith dan titik nadir serta melalui tempat kita berdiri, kita namakan *garis vertikal*.

Gambar 2

Ia tegak lurus pada bidang horizon; akibatnya setiap titik pada lingkaran horizon jaraknya 90° dari titik zenith.
Melalui titik zenith dan titik nadir dapat digambarkan pada bola langit lingkaran-lingkaran yang bertitik pusat pada titik pusat bumi.

Lingkaran-lingkaran itu dinamakan *lingkaran-lingkaran vertikal*. Jumlahnya dapat dibuat sebanyak mungkin tak terbatas. Lingkaran-lingkaran itu dan lingkaran horizon berpotong-potongan menurut sudut siku-siku.

Umpamakan ada sebuah titik A pada sebuah lingkaran vertikal (gambar 2). Jarak dari titik A ke titik zenith (Z) kita namakan *jarak zenith*, biasanya ditandai dengan huruf kecil *z*; jarak dari titik A ke lingkaran horizon dinamakan *tinggi*, ditandai dengan huruf kecil *h*, jelasnya bahwa $z + h = 90°$, atau :

Rumus I

$$z = 90° - h$$
$$h = 90° - z$$

3. Meridian

Di antara lingkaran-lingkaran vertikal yang banyak itu ada sebuah yang mempunyai sifat istimewa. Ia biasanya digambarkan berimpit dengan bidang gambar. Lingkaran itu dinamakan *lingkaran meridian langit setempat*, atau secara pendek *meridian* saja, dan selain memuat titik zenith dan titik nadir, pada meridian itu terdapat pula *kutub Utara langit*, *kutub Selatan langit*, *titik Utara* dan *titik Selatan*.

Secara pendek dapat dikatakan, bahwa Lingkaran meridian adalah lingkaran vertikal yang melalui kutub langit. Kutub Utara langit dan kutub Selatan langit dihubungkan oleh poros langit, yaitu perkepanjangan *poros bumi*, yang menghubungkan Kutub Utara bumi dan Kutub Selatan bumi.

Bila tempat peninjau terletak di bagian belahan bumi di sebelah Utara, maka kutub Utara langit berada *di atas ufuk*, dan kutub Selatan berada *di bawah ufuk*. Sebaliknya jika tempat peninjauan terletak di bagian bumi sebelah Selatan, maka kutub Selatan langitlah yang berada di atas ufuk, sedangkan kutub Utara berada di bawah ufuk. Pada gambar bola langit, kutub Utara biasanya terdapat di sebelah kiri penggambar, dan kutub Selatan di sebelah kanannya.

Jika matahari sedang berkulminasi, (I, 1) maka kedudukan titik pusatnya adalah tepat di meridian; tinggi matahari pada saat itu (diukur melalui meridian) dinamakan *tinggi kulminasi*, ditandai dengan h_m. Jarak zenith pusat matahari di waktu berkulminasi ditandai dengan z_m.

4. Tinggi Kutub

Yang dinamakan *tinggi kutub* ialah jarak dari kutub ke horizon, diukur melalui lingkaran meridian. Mengenai tinggi kutub itu, berlaku kaidah :

Rumus II

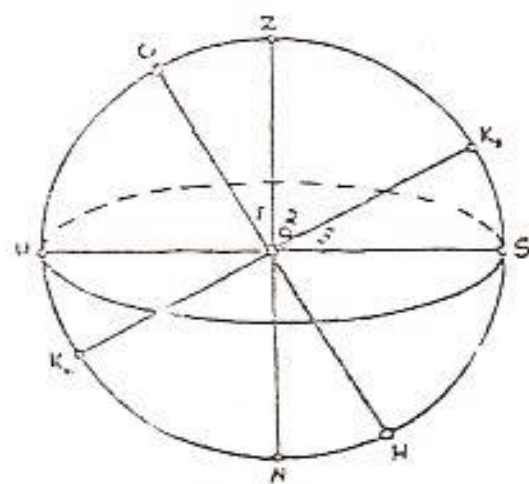
tinggi kutub = lintang tempat

Jika tempat kita meninjau letaknya tepat di khatulistiwa, tentu saja lintang kita = 0°; artinya, kutub Utara dan kutub Selatan bagi kita terletak pada ufuk, jadi tidak nampak, dan tinggi kutubpun 0° pula.

Kutub Utara ditandai oleh sebuah bintang, yang dinamakan *Bintang Kutub* (bagi kutub Selatan kebetulan tidak ada bintang yang menandai). Jika kita bergerak di atas bumi dari tempat peninjauan kita di khatulistiwa ke arah Utara, maka kita lihat pada malam hari Bintang Kutub itu berangsur-angsur naik menjauhi ufuk. Makin jauh kita bergerak dari khatulistiwa, makin tinggi pula kelihatan Bintang Kutub itu di atas ufuk.

Jarak suatu tempat dari khatulistiwa bumi dinamakan *lintang tempat;* ditandai dengan huruf Yunani Ø (baca phi = fi). Oleh karena itu dapat dituliskan "tinggi kutub = lintang tempat".

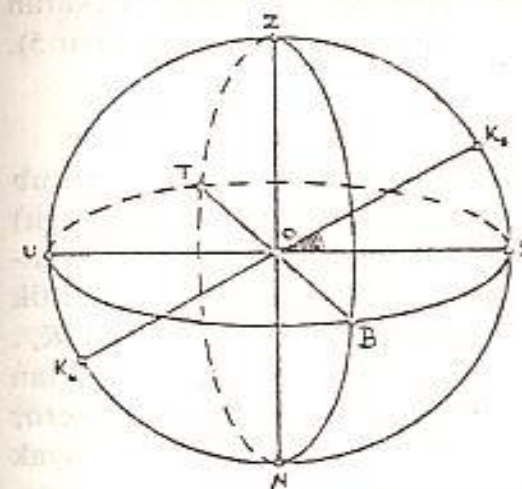
Keadaan itu memungkinkan menentukan lintang sesuatu tempat dengan mudah, yaitu dengan mengukur berapakah tingginya Bintang Kutub di atas horizon. Jika Bintang Kutub kita lihat tingginya *a* derajat, maka jarak tempat peninjauan kita itu dari khatulistiwa adalah *a* derajat pula.

Kebenaran qaidah tentang tinggi kutub itu dapat dibuktikan sebagai berikut :

Gambar 3

0 = tempat peninjauan di atas bumi; Z0 = garis arah unting-unting; US = horizon; CH = Khatulistiwa; K_u — K_s = Perpanjangan poros bumi; K_u dan K_s = Kutub Langit. Garis Z0 membuat sudut dengan CO sebesar lintang tempat ($\angle$ 0_1).
Sudut 0_1 dan sudut 0_3, sama besar karena berpenyiku sesamanya, yaitu sudut 0_2.

Oleh karena itu, maka sudut K_s0S sama besar dengan sudut COZ, atau dengan lain perkataan : tinggi kutub sama besarnya dengan lintang tempat. Pada gambar tampak pula, bahwa lintang tempat sama pula dengan jarak zenith, yaitu jarak sepanjang meridian yang dihitung dari titik Zenith ke Equator.

5. Horizon

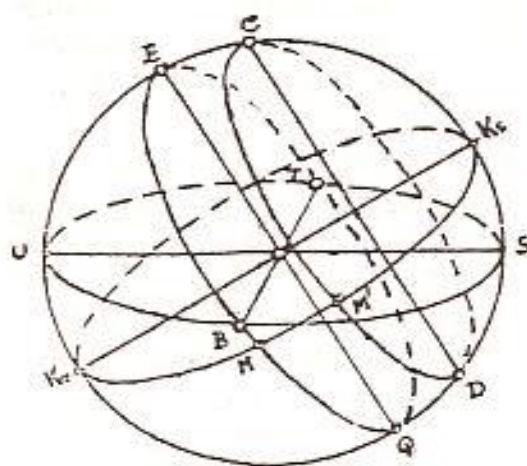
Perhatikanlah sekarang gambar 4. Kutub Selatan digambarkan di atas horizon; jika demikian, tempat yang dimaksud dengan gambar itu terletak di belahan bumi bagian Selatan. Lintang tempat itupun dapat diketahui dari gambar, yaitu sebesar sudut SOK$_s$, atau sebesar busur SK$_s$, yaitu tingginya kutub Selatan di atas horizon. Titik S dinamakan titik Selatan, yaitu titik perpotongan antara Meridian dengan horizon di bagian Selatan yang satu lagi ialah titik Utara atau U.

Gambar 4

Selain titik Utara dan titik Selatan, pada horizon terdapat pula titik Timur T dan titik Barat B, keduanya terpisah dari titik Utara dan titik Selatan dengan jarak sebesar 90°. Lingkaran vertikal ZBNT, yang melalui titik Zenith, titik Barat, titik Nadir dan titik Timur, diberi nama tertentu, yaitu *lingkaran vertikal utama.* Ia membagi bola langit menjadi dua bagian sama besar, yaitu *belahan Utara dan belahan Selatan.* Dalam pada itu, meridian setempat membagi bola langit kepada *belahan Barat* dan *belahan Timur.*

6. Tempuhan Harian

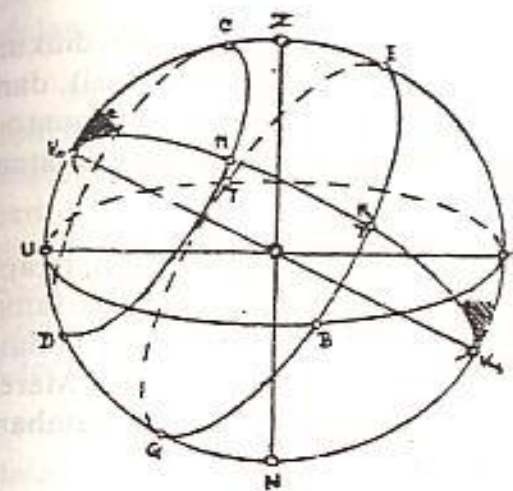
Perjalanan harian matahari menurut arah Timur — Barat, bukanlah gerak hakiki, tetapi disebabkan oleh perputaran bumi sekeliling porosnya,

yang berlaku dalam waktu ± 24 jam, menurut arah Barat — Timur. Oleh perputaran sekeliling poros itu, gerak setiap titik di atas bumi berlaku dalam suatu bidang yang tegak lurus pada poros bumi.

Salah satu bidang yang tegak lurus pada poros bumi ialah bidang khatulistiwa bumi, yang melalui titik pusat bumi. Jika bidang itu kita khayalkan diperluas sehingga mencapai bola langit, maka ia akan memotong bola langit menurut suatu lingkaran yang kita namakan equator langit (lingkaran EBQT pada gambar 5). Tempuhan harian matahari (dan semua benda langit lainnya seperti bulan, planit, bintang-bintang tetap dan lain-lainnya) senantiasa berbentuk lingkaran-lingkaran yang letaknya *sejajar* dengan equator langit itu (misalnya lihat gambar 5).

Gambar 5

Melalui Kutub Utara dan kutub Selatan langit (pada bola langit) dapat digambarkan lingkaran-lingkaran yang berpusat pada titik pusat bumi misalnya Ku M M'K, . Lingkarang-lingkaran demikian dinamakan *lingkaran waktu;* jumlahnya dapat dibuat sebanyak mungkin tak terbatas. Semuanya membuat sudut sebesar 90° dengan equator langit.
Lingkaran meridian juga adalah lingkaran waktu yang melalui Zenith.

7. Sudut Waktu

Setiap lingkaran waktu membuat sudut dengan lingkaran meridian. Besar sudut itu dapat dilihat pada kutub, jadi pada gambar 6 sudut MKuZ, atau sudut MKsZ, yang besarnya sama. Sudut itu dinamakan sudut waktu setempat atau secara pendek *sudut waktu* saja, yang biasanya

Gambar 6

ditandai huruf *t*. Dasarnya sama pula dengan busur EM pada equator langit. Sudut waktu itu dinamakan demikian, oleh karena bagi semua benda langit yang terletak pada lingkaran waktu yang sama, berlaku qaidah : *bahwa jarak waktu yang memisahkan mereka dari kedudukan mereka sewaktu berkulminasi, adalah sama.*

Dengan perkataan lain : benda-benda langit yang terletak pada lingkaran waktu yang sama, berkulminasi pada waktu yang sama pula. Besarnya sudut waktu itu menunjukkan berapakah jumlah waktu yang memisahkan benda langit bersangkutan dari kedudukannya sewaktu berkulminasi.

Sudut waktu dinamakan *positip*, jika benda langit bersangkutan berkedudukan di belahan langit sebelah Barat. Dan dinamakan *negatip*, jika benda langit bersangkutan berkedudukan di belahan langit sebelah Timur. Jika sebuah benda langit sedang berkulminasi sudut waktu = 0°. Selanjutnya, besarnya diukur dengan derajat sudut dari 0° sampai 180°. Sudut waktu senantiasa berubah sebanyak ± 15° setiap jam, hal itu disebabkan oleh gerak harian benda-benda langit, yang diakibatkan oleh perputaran bumi sekeliling porosnya, yang berlaku satu kali dalam setiap 24 jam. Dengan demikian, dapatlah jumlah derajat sudut waktu dipindahkan menjadi jumlah jam, menit dan detik waktu, karena :

360° = 24 jam
15° = 1 jam
1° = 4 menit
15' = 1 menit
1' = 4 detik, dan begitu selanjutnya.

8. Deklinasi

Deklinasi ialah jarak dari suatu benda langit ke equator langit, diukur melalui lingkaran waktu (yang juga dinamakan lingkaran deklinasi), dan dihitung dengan derajat, menit dan detik. Deklinasi sebelah Utara equator dinamakan positif dan diberi tanda (+); sedang deklinasi sebelah Selatan equator dinamakan negatif, dan diberi tanda (—).

Deklinasi matahari berubah sewaktu-waktu selama satu tahun, tetapi pada tanggal-tanggal yang sama, bilangan deklinasi itu kira-kira sama pula. Dari tanggal 21 Maret sampai tanggal 23 September deklinasi matahari *positif*, sedang dari tanggal 23 September sampai 21 Maret *negatif*. Pada tanggal 21 Maret dan tanggal 23 September matahari berkedudukan di equator deklinasinya berjumlah 0°.

Sesudah tanggal 21 Maret matahari berangsur-angsur bergerak ke Utara menjauhi equator, dari hari ke hari makin lama makin jauh, hingga pada tanggal 21 Juni ia mencapai kedudukannya yang paling jauh dari equator, yaitu 23°27′ Utara. Setelah itu ia bergerak kembali ke Selatan, setiap hari makin mendekati equator, hingga pada tanggal 23 September ia berkedudukan di-equator lagi. Ia lalu melanjutkan perjalanannya ke Selatan, hingga pada tanggal 22 Desember ia mencapai tempatnya yang paling jauh pula dari equator, yaitu 23°26′ Selatan. Setelah itu ia berbalik bergerak ke Utara kembali, berangsur-angsur setiap hari lebih mendekati equator. Pada tanggal 21 Maret ia berkedudukan tepat di-equator lagi.

Dari perubahan kedudukan matahari selama satu tahun, sebagai dijelaskan di atas, teranglah bagi kita bahwa deklinasi matahari senantiasa berubah, tidak saja dari sehari ke sehari, tetapi malahan dari jam ke jam. Perubahan itu paling besar, dikala matahari berkedudukan di dekat equator, jadi sekitar tanggal 21 Maret dan 23 September; perubahan itu paling kecil, dikala matahari berbalik dalam perjalanannya, yaitu sekitar tanggal 21 Juni dan 22 Desember.

Misalnya : Pada tanggal 23 Maret 1970 pukul 12.00 wib, deklinasi matahari berjumlah 0°.51′ Utara; pada keesokan harinya, tanggal 24 Maret 1970, pada waktu yang sama, deklinasi itu berjumlah 1°.15′, Utara; jadi perbedaannya sebanyak 24′ dalam waktu sehari semalam, atau sama dengan perbedaan satu menit busur dalam satu jam. Pada tanggal 23 Juni 1970 pukul 12.00 wib, deklinasi matahari berjumlah 23°.26′

Utara, pada keesokan harinya pada waktu yang sama, deklinasi itu berjumlah 23°.25′,5 Utara, jadi merupakan perbedaan setengah menit busur dalam waktu 24 jam.

Mengenai perubahan dari tahun ke tahun, dapat dikemukakan contoh berikut : Pada tanggal 23 Maret 1959 pukul 11.30 wib, deklinasi matahari berjumlah 0°.43′.00″. Utara pada tahun 1960 buat tanggal dan jam yang sama 1°.01′ pada tahun 1961 buat tanggal dan jam sama 0°.55′.13″ pada tahun 1962, buat tanggal dan jam yang sama 0°.49′.20″, pada tahun 1963 buat tanggal dan jam yang sama 0°.43′.37″ Utara. Selanjutnya pada tahun 1970 buat tanggal dan jam yang sama 0°.50′.34″. Utara.

Untuk memperoleh ikhtisar tentang perubahan deklinasi matahari dalam satu tahun, di bawah ini dicantumkan sebuah daftar yang memuat jumlah deklinasi matahari secara kasar, sebagai berikut :

Daftar Deklinasi

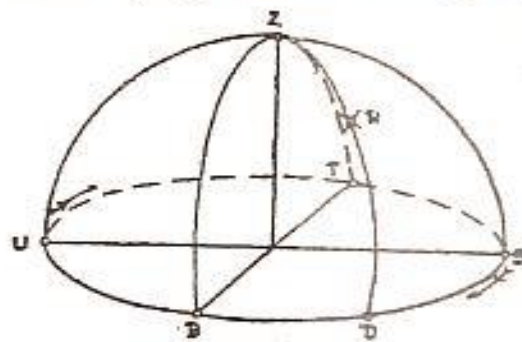
tanggal	deklinasi matahari	tanggal
22 Desember	— 23°.30′	22 Desember
21 Januari	— 20°	22 Nopember
8 Pebruari	— 15°	3 Nopember
23 Pebruari	— 10°	20 Oktober
8 Maret	— 5°	6 Oktober
21 Maret	0°	23 September
4 April	+ 5°	10 September
16 April	+ 10°	28 Agustus
1 Mei	+ 15°	12 Agustus
23 Mei	+ 20°	24 Juli
21 Juni	+ 23°.30′	21 Juni

Dari daftar itu terbukti, bahwa deklinasi matahari sama besarnya dalam dua hari dalam setahun, misalnya : deklinasi matahari berjumlah —15° pada tanggal *8 Pebruari dan tanggal 3 Nopember*; + 5° pada tanggal *4 April dan 10 September*, dan begitu selanjutnya.

Ternyata juga, apa yang sudah dikemukakan tadi, yaitu bahwa perubahan deklinasi itu tidak berlaku sama rata selama setahun : dari tanggal 23 Mei sampai tanggal 21 Juni yaitu dalam masa 29 hari, deklinasi berubah dari 20° menjadi 23½°, jadi meliputi perubahan sebanyak 3½° dari tanggal 21 Maret hingga tanggal 4 April, yaitu dalam masa 14 hari, deklinasi matahari berubah dari 0° menjadi + 5°, jadi meliputi perubahan sebanyak 5°.

9. Azimuth

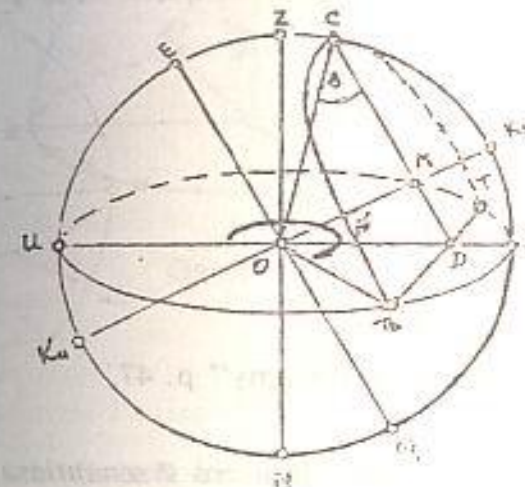
Azimuth sebuah benda langit ialah jarak dari *titik Utara* ke lingkaran vertikal yang melalui benda langit tersebut, diukur sepanjang lingkaran horizon menurut arah perputaran jarum jam, jadi melalui titik Timur, titik Selatan dan titik Barat.

Pada gambar 7 TZB adalah lingkaran vertikal utama, ZRD lingkaran vertikal yang melalui bintang R, dan UTSD merupakan azimuth bintang R. Sebuah benda langit yang sedang berkulminasi, azimuthnya ialah 0°, jika kedudukannya sebelah Utara titik zenith; azimuthnya berjumlah 180°, jika kedudukannya sebelah Selatan titik Zenith. Azimuth titik Timur besarnya 90°, azimuth titik Barat 270°.

Gambar 7

Arah qiblat bagi kota Jakarta, ialah 25°,09′ sebelah Utara titik Barat; itu berarti, bahwa bagi kota Jakarta azimuth titik zenith kota Makkah besarnya 270° + 25°.09′ = 295°.09′.

Azimuth terbit dan azimuth terbenam matahari senantiasa berubah, oleh karena deklinasi matahari setiap hari berubah pula. Malahan boleh

dikatakan, bahwa tidak ada azimuth terbit dan azimuth terbenam itu yang sama pada dua hari yang berturut-turut.

Besar azimuth terbit dan azimuth terbenam sebuah benda langit dapat dihitung secara berikut :

Gambar 8

Pada gambar 8 KsOS adalah tinggi kutub, yang sama besarnya dengan Ø, U adalah titik Utara, S adalah titik selatan, T_b titik terbenam. Sudut EOC ialah deklinasi benda langit, yang oleh karena berarah Selatan kita beri tanda negatif, jadi — δ. Sudut OCD besarnya — δ pula (garis OE dan garis DC sejajar, dipotong oleh garis OC).

Azimuth terbenam, yang hendak kita tentukan besarnya dan kita namakan A_o, ialah sudut UST_b dan sudut SOT = A_o — 180°. Jari-jari bola langit kita namakan R, dan besarnya kita tentukan = 1.

Dengan jalan demikian, maka :

$$\frac{OM}{OC} = OM = \sin - \delta = - \sin \delta$$

$$\angle \; DOM = - \varnothing$$

$$\frac{OM}{OD} = \cos - \varnothing = \cos \varnothing$$

$$OD = \frac{OM}{\cos \varnothing} = - \frac{\sin \delta}{\cos \varnothing}$$

Dalam segitiga DOT kita peroleh selanjutnya :

$$\cos \angle \text{ DOT} = \frac{OD}{OT}$$

atau : $OD = OT \cos\angle DOT = \cos \angle \text{ DOT} - \cos (A_o - 180°)$
$\cos (180° + A_o) = - \cos A_o$.

Dari uraian di atas, ternyata bahwa :

Rumus III

$$\boxed{\cos A_o = \frac{\sin \delta}{\cos \varnothing}}$$

Note : Baca : "Texbook on Spherical Astronomy" p. 47.

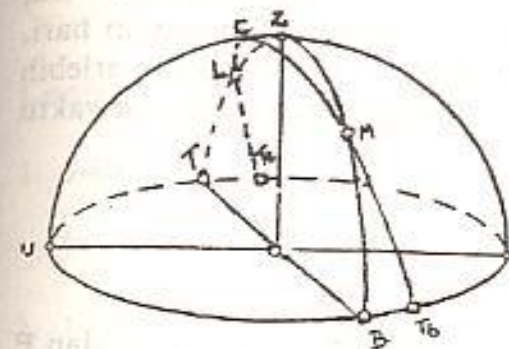
Harga Ø berkisar di antara —90° dan + 90°; jadi cos Ø *senantiasa positif.*

Jika δ positip, maka cos A positip pula; dan harganya terletak di antara — 90° dan + 90°. Jika δ negatip, maka A_o negatip pula, jadi harganya terletak di antara 90° — 270°.

Kesimpulan di atas berarti, bahwa *jika deklinasi matahari berarah Utara, maka ia terbit dan terbenam senantiasa sebelah Utara lingkaran vertikal utama; dan jika deklinasinya berarah selatan, maka ia terbit dan terbenam senantiasa di sebelah Selatan vertikal Utama.*

Tetapi hal itu tidak berarti, bahwa jika matahari terbit dan terbenam misalnya di sebelah Selatan lingkaran vertikal utama, ia dalam perjalanan hariannya tetap berkedudukan dibelahan langit bagian Selatan. Adakalanya terjadi, bahwa dalam perjalanan hariannya ia memotong lingkaran vertikal utama dan berpindah kebagian langit belahan Utara; tetapi tempat terbenamnya pasti di sebelah Selatan lingkaran vertikal utama.

Kejadian tersebut diperlihatkan dalam gambar 9. TZBN ialah lingkaran vertikal utama. Tt LCMTb ialah busur siang matahari.

Matahari terbit di titik Tt dari Tt sampai L ia di bagian langit sebelah Selatan, pada titik L ia berpindah ke sebelah Utara lingkaran vertikal utama. Setelah berkulminasi, (c) ia memotong lingkaran vertikal utama sekali lagi di titik M, dan akhirnya ia terbenam di sebelah Selatan lingkaran vertikal utama (titik Tb).

Gambar 9

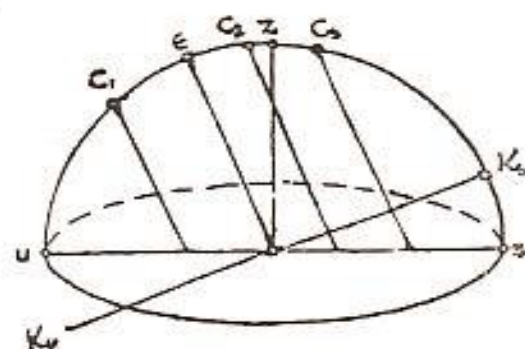
Dalam kejadian sehari-hari hal yang diterangkan di atas dapat dilihat, jika di sebuah pekarangan ada misalnya sebuah dinding yang membujur, menurut arah Timur — Barat. Pada pagi hari bagian selatan dinding itu kena panas matahari, pada siang hari, bagian utaranya yang kepanasan, dan pada petang hari, bagian selatannya lagi yang ditimpa panas matahari.

Catatan :

1. Rumus (3) di atas memberi jalan yang mudah untuk mengetahui tempat terbenam bulan dan matahari, pada waktu melakukan "ru'yah Hilal"; yang perlu diketahui ialah deklinasi keduanya.
2. Jika Ø = 0°, maka cos Ø = 1, dan rumus itu menjadi $\cos A_o = \sin \delta = \cos (90° + \delta)$. $A_o = 90° + \delta$.

Ini berarti, bahwa bagi suatu tempat di khatulistiwa mudah sekali menentukan dengan teliti deklinasi sebuah benda langit, yaitu dengan jalan mengukur azimuth titik terbenam atau titik terbit benda langit bersangkutan. Disinilah terletak pentingnya sebuah markas peninjauan (observatorium) yang berkedudukan tepat di khatulistiwa.

10. Tinggi Kulminasi

Keadaan deklinasi matahari yang setiap hari berubah itu, mengakibatkan pula berubahnya tinggi kulminasi matahari setiap hari. Untuk mengetahui besarnya tinggi kulminasi, kita tentukan terlebih dahulu z_m matahari, yaitu jarak titik pusat matahari dari Zenith, sewaktu matahari dimeridian.
Pada gambar 9 perhatikanlah :

Gambar 10

K, kutub Selatan, Z zenith, dan E = equator, UZS ialah seperdua lingkaran meridian, tempat matahari berkulminasi. Sudut EOK, besarnya 90°, sudut ZOS besarnya 90° pula. Busur EZ sama besarnya dengan sudut $\varnothing$.

Jika deklinasi matahari = 0°, matahari berkulminasi di titik E, jadi $z_m = \varnothing$. Jika deklinasi matahari berarah Utara, misalnya EC_1, maka $z_m = ZC_1$, yaitu $\varnothing + EC_1$. Jika deklinasi matahari berarah Selatan, tetapi tidak sebesar $\varnothing$, misalnya EC_2, maka $z_m = ZC_2$, yaitu $\varnothing - EC_2$. Jika deklinasi matahari berarah Selatan, tetapi lebih besar dari $\varnothing$, misalnya EC_3, maka $z_m = ZC_3$, yaitu $EC_3 - \varnothing$.

Perhitungan-perhitungan di atas dapat disimpulkan dengan satu rumus, yaitu :

Rumus IV $$z_m = / \varnothing - \delta /$$

Dengan kata-kata : Jarak zenith titik pusat matahari pada saat matahari berkulminasi besarnya sama dengan harga mutlak $\varnothing - \delta$.

Yang dimaksud dengan harga mutlak ialah, harga $\varnothing - \delta$ dengan tidak mengindahkan tanda positip dan tanda negatif dalam pendapatannya.

Contoh-contoh :

1. Jika $\varnothing = +12°$ dan $\delta = -8°$, maka :
   $z_m = [+12° - (-8°)] = [+12° + 8°] = [+20°] = 20°$
2. Jika $\varnothing = -12°$ dan $\delta = +8°$, maka :
   $z_m = [-12° - (+80°)] = [-12° - 8°] = [-20°] = 20°$.

Dapat juga dikatakan : jika $\varnothing$ dan δ pihaknya sama (atau sama-sama sebelah Selatan atau sama-sama sebelah Utara khatulistiwa), maka z_m harganya sama dengan selisih harga $\varnothing$ dan δ; jika $\varnothing$ dan δ pihaknya berlainan, (yang satu sebelah Selatan, yang satu lagi sebelah Utara khatulistiwa), maka z_m harganya sama dengan jumlah harga $\varnothing$ dan δ.

Jika z_m sudah diketahui, maka tinggi kulminasi mudah mencarinya, yaitu $90° - z_m$; kita peroleh :

Rumus V $$h_m = 90° - [\varnothing - \delta]$$

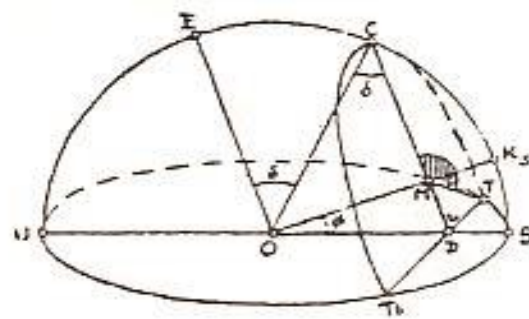
Dapat pula sekarang diketahui, bilakah matahari berkulminasi tepat di Zenith; dalam hal ini $z_m = 0°$; jadi $\varnothing = \delta$.

$$\varnothing = \delta$$

Dengan kata-kata : Matahari berkulminasi di Zenith, jika deklinasi matahari sama dengan lintang tempat peninjauan. Itulah sebabnya, maka bagi setiap tempat di daerah khatulistiwa matahari pada umumnya dua kali dalam setahun pada tengah hari "tepat di atas ubun-ubun".

11. Busur Siang

Perubahan deklinasi matahari mengakibatkan pula perubahan dalam perbandingan di antara panjangnya busur siang dan busur malam (I,1). Oleh karena itu, siang hari tidak sama panjangnya bagi suatu tempat selama satu tahun; adakalanya ia agak panjang, adakalanya agak pendek. Hanya bagi tempat-tempat yang terletak tepat di khatulistiwa panjang siang itu selalu sama. Bagi tempat-tempat yang letaknya tidak pada khatulistiwa, panjang siang itu berbeda-beda selama satu tahun; makin jauh letak suatu tempat dari khatulistiwa, makin besar perbedaan itu. Malahan adakalanya terjadi, bahwa panjang siang menjadi 24 jam, sehingga malam tidak ada sama sekali, ada pula malam yang panjangnya 24 jam sehingga sehari-harinya matahari tidak kelihatan.

Perbandingan di antara panjang siang dan panjang malam dapat kelihatan serta dapat dihitung dengan cara berikut :

Gambar 11

Dalam Gambar 11 T ialah titik terbit, C titik kulminasi, busur TC besarnya seperdua busur siang, sudut TMC ialah sudut waktu pada saat terbit, yang kita namakan t_o yang akan kita tentukan besarnya. Bagian busur yang diatas ufuk, yaitu busur siang, besarnya 2 t_o. Serupa dengan gambar 8, jari-jari langit R kita beri ukuran = 1. Sudut KsOS besarnya = ∅, sudut OCM besarnya = δ.

$\angle$ TMD = 180° — t

MO = sin — δ = — sin δ

MC = cos — δ = cos δ = MT (MT dan MC adalah sama-sama jari-jari lingkaran temp.)

$$\frac{MD}{MO} = \text{tg} - \varnothing = -\text{tg}\,\varnothing$$

$$MD = MO\text{-tg}\,\varnothing = -\sin\delta - \text{tg}\,\varnothing = \sin\delta\,\text{tg}\,\varnothing$$

$$\frac{MD}{MT} = \cos(180^\circ - t) = -\cos t_o$$

$$\cos t_o = -\frac{MD}{MT} = \frac{\sin^\circ\delta\,\text{tg}\,\varnothing}{\cos\delta} = -\text{tg}\,\delta\,\text{tg}\,\varnothing$$

Rumus VI

$$\cos t_o = -\text{tg}\,\delta\,\text{tg}\,\varnothing$$

Note : Baca : "Texbook on Spherical Astronomy" p. 47.

Catatan :

1. Bila δ = 0°, maka buat semua harga ∅, cos t_o = 0 dan t_o = 90°. $2t_o$ = 180°, yaitu seperdua lingkaran. Artinya : bila matahari di equator (deklinasi = 0), maka buat semua tempat di atas dunia siang dan malam sama panjangnya.
2. Bila ∅ = 0°, maka buat semua harga 0, cos t_o = 0, t_o = 90°, 2 t_o = 180°. Artinya buat tempat-tempat yang terletak tepat di khatulistiwa (∅ = 0), sepanjang tahun lama siang dan malam senantiasa sama, jadi masing-masing 12 jam.
   Perhatian : Dalam pembicaraan busur siang pada Bab ini tidak diperhitungkan terlebih dahulu pengertian terbit dan terbenam sebagaimana dipersoalkan dalam Bab II,3 dan tidak pula diperhitungkan pembiasan angkasa seperti dalam Bab II,4.
3. Hasil kali tg δ tg ∅, dapat mencapai setiap harga; sedangkan cos t_o harga mutlaknya tidak dapat lebih besar dari 1.

Jika tg δ tg $\varnothing$ mencapai harga mutlak lebih dari 1, maka tidak ada titik terbit dan titik terbenam; dalam hal demikian, matahari sehari-hariannya tidak ada mencacah lingkaran ufuk; dalam hal itu bila deklinasi matahari dan lintang tempat fihaknya sama (sama-sama Utara atau sama-sama Selatan), siang hari lamanya 24 jam, karena seluruh tempuhan matahari terletak di sebelah atas ufuk. Bila deklinasi matahari dan lintang tempat fihaknya berlainan (yang satu Utara, yang lain Selatan, atau sebaliknya), malamlah yang lamanya 24 jam, karena seluruh tempuhan matahari terletak di bawah ufuk.

Hubungan di antara δ dan $\varnothing$ dalam keadaan yang demikian dapat diketahui dengan jalan berikut :

tg δ tg $\varnothing$ lebih besar dari 1
tg $\varnothing$ lebih besar dari cotg δ
tg $\varnothing$ lebih besar dari tg (90° — δ)
$\varnothing$ lebih besar dari 90 — δ.

Dengan kata-kata : Jika harga mutlak lintang tempat lebih besar dari 90° dikurangi harga mutlak deklinasi matahari, maka matahari tidak terbit dan tidak terbenam.

Contoh : Buat tempat-tempat manakah matahari pada tanggal 22 Nopember tidak terbenam ? (siang hari panjangnya 24 jam).

Menurut daftar deklinasi pada halaman 10 deklinasi matahari besarnya — 20°, maka 90° — 20° — 70°. Buat tempat-tempat di atas dunia yang terletak lebih Selatan dari garis lintang — 70°, matahari pada hari itu tidak pernah terbenam.

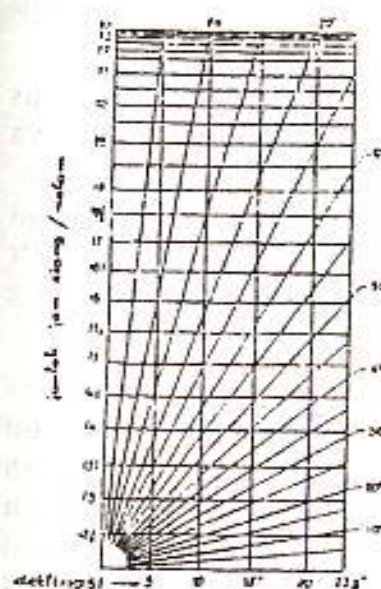
12. Lama Siang dan Malam

Dengan mempergunakan rumus 6 dapat disusun grafik seperti pada gambar 12 yang mengikhtisarkan perkembangan perubahan lamanya siang dan malam selama satu tahun bagi berbagai-bagai tempat di dunia dengan jalan grafik.

Andaikata $\varnothing$ = + 21°.20′ dan δ = + 23°; 26′, maka :

$$\cos t_o = -\text{tg } + 23°.26' \text{ tg } 21°.20'$$
$$= -0{,}4334 \times 0{,}3906$$
$$= -0{,}1693$$
$$t_o = 90° + 9°,.45' = 99°\ 45'$$
$$2\,t_o = 199°.30' = 13^{dj}.22^{m}$$

Jadi lama siang ialah : $13^{dj}.22^{m}$, dan lama malam $10^{dj}.38^{m}$.

Pada bagian bawah gambar tercantum deklinasi matahari dengan jumlah-jumlah : 5°, 10°, 15°, 20° dan 23½°.

Gambar 12

Garis-garis yang berpangkal I di sudut kiri bawah dan melintang miring ke kanan dan ke atas, menunjukkan lintang-lintang tempat yang dikehendaki. Pada pinggir kanan gambar tertulis jumlah lintang itu, mulai dari bawah dengan 10°, berturut-turut ke atas 20°, 30° dan begitu selanjutnya sampai 90°.
Pada pinggir kiri gambar tercantum juga jumlah jam panjangnya siang atau malam, mulai di bagian bawah dengan 12 jam, 12½ jam, 13 jam dan selanjutnya sampai di atas sekali 24 jam. Jika deklinasi matahari dan lintang tempat berpihak sama (sama-sama Utara atau sama-sama Selatan), maka yang ditunjukkan grafik ialah jumlah jam lamanya siang. Jika deklinasi matahari dan lintang tempat pihaknya berlainan, maka yang ditunjukkan ialah jumlah jam lamanya malam.

Beberapa contoh :

1. Berapa jamkah lamanya siang pada tanggal 23 Mei bagi suatu tempat yang lintangnya 60° Utara ?

Dari daftar deklinasi pada halaman 10 ternyata, bahwa deklinasi matahari pada tanggal 23 Mei berjumlah + 20° deklinasi dan lintang pihaknya sama, jadi yang ditunjuk grafik ialah lamanya siang. Kita lihat bilangan 20, di bagian bawah grafik, yang menunjukkan besarnya deklinasi matahari, lalu kita menyusur ke atas melalui garis tegak pada bilangan 20 itu. Kita perhatikan titik potongnya dengan garis miring 60° yang menunjukkan lintang. Pada setinggi titik potong itu kita menoleh ke kiri, dan kita dapati jumlah jam di antara 17 dan 17½. Dapat kita taksir, bahwa siang hari kira-kira 17¼ jam.

2. Berapakah lamanya siang pada akhir bulan Agustus buat suatu tempat yang lintangnya 50° sebelah Selatan khatulistiwa ?

   Daftar pada halaman 10 menunjukkan buat tanggal 28 Agustus deklinasi matahari sebesar + 10°. Deklinasi dan lintang pihaknya berlainan, jadi yang ditunjukkan grafik ialah panjangnya malam. Pada titik potong garis, deklinasi 10° dan garis lintang 50°; kita lihat jumlah jam, yang mendekati bilangan 14, sehingga dapat ditaksir jumlah waktu sebanyak 13^j, 40^m. Dengan jalan demikian, siang lamanya kurang lebih (24^j — 13^j. 40^m) = 10^j20^m.

3. Gambar 12 dapat dipergunakan untuk mengetahui perubahan panjang siang selama satu tahun pada suatu tempat tertentu. Kita ambil misalnya suatu tempat yang lintangnya 70° sebelah Utara khatulistiwa. Pada tanggal 21 Maret deklinasi matahari 0°. Hari itu lama siang di tempat itu 12 jam. Pada tanggal 4 April deklinasi matahari + 5°; dalam grafik kita lihat, bahwa panjang siang dalam keadaan itu kira-kira 13 jam 50^m. Dengan mengikuti garis grafik, lintang 70°, dapat kita ketahui selanjutnya bahwa panjang siang pada tanggal 16 April adalah kira-kira 15^j. 50^m, pada tanggal 1 Mei 18^j. 20^m, dan pada tanggal 23 Mei 24^j. Sejak tanggal itu hari terus-menerus siang, artinya matahari tidak pernah terbenam, dan tidak pernah pula terbit, karena tempuhannya selalu terletak sebelah atas ufuk. Hal itu berlaku sampai tanggal 24 Juli, bila deklinasi matahari menjadi + 20° kembali, sebagai keadaan pada tanggal 23 Mei. Sesudah tanggal 24 Juli, lama siang berangsur-angsur menjadi pendek kembali, yaitu pada tanggal 12 Agustus 18^j20^m, pada tanggal 28 Agustus 15^j50^{mnt}, pada tanggal 10 September 13^j50^m, dan pada tanggal 23 September, jika matahari kembali berkedudukan dikhatulistiwa, panjang siang menjadi 12^j.

Sesudah tanggal 23 September, deklinasi matahari berpihak Selatan, jadi yang ditunjukkan grafik ialah lamanya malam, pada tanggal 6 Oktober (Perhatikan selalu daftar deklinasi matahari pada halaman 10) panjang siang ialah 24^j50^m = 10^j10^m, pada tanggal 20 Oktober $8^j.10^m$, pada tanggal 3 September $5^j.40^m$, dan mulai tanggal 22 Nopember matahari tidak pernah lagi kelihatan, karena seluruh tempuhannya terletak di sebelah bawah ufuk. Malam yang tak putus-putusnya itu berlaku sampai tanggal 21 Januari, jadi selama kira-kira 2 bulan. Setelah tanggal itu, matahari mulai terbit dan terbenam kembali. Pada tanggal 8 Pebruari lama siang 5^j40^{mnt}, pada tanggal 23 Pebruari 8^j10^m, pada tanggal 8 Maret, 10^j10^m, dan pada tanggal 21 menjadi 12^j kembali.

Perhitungan di atas memungkinkan pula mengetahui, pukul berapa matahari pada suatu hari tertentu terbit dan terbenam. Misalnya pada tanggal 8 Pebruari, jika siang hari lamanya 5^j40^m. Masa dari matahari terbit hingga tengah hari lamanya sama, dengan masa dari tengah hari hingga matahari terbenam, jadi masing-masing setengah X 5^j40^m = 2^j50^m. Matahari terbit 2^j50^m sebelum pukul 12, jadi kira-kira pukul $09^j.10^m$; dan matahari terbenam kira-kira pukul 14^j50^m.

Perhatikan : Persoalan pembiasan angkasa (II,4) dan peraba waktu (III,4) tidak diperhitungkan di sini, berhubung dengan itu, tanggal dan waktu yang disebutkan di atas adalah tanggal dan waktu kira-kira jadi bukan merupakan keadaan yang tepat. Cara menghisab waktu, terbit dan terbenam matahari, secara teliti dibicarakan dalam Bab II dan seterusnya.

13. Bayang-bayang

Pada siang hari, setiap benda yang menonjol di atas permukaan bumi dan kena sinar matahari, akan membuat bayang-bayang. Dalam keadaan matahari rendah, bayang-bayang itu akan menjadi amat panjang; makin tinggi kedudukan matahari di langit, makin memendek bayang-bayang itu.

Jika matahari di Zenith, benda-benda yang terpancang tegak lurus pada permukaan bumi dan mempunyai penampang yang rata, atau penampang yang paling besar di bagian bawahnya, tidak akan berbayang-bayang.

Perjalanan matahari dalam satu hari menyebabkan perubahan dalam ukuran panjang bayang-bayang. Pagi hari bayang-bayang itu amat panjang, tengah hari ia paling pendek, petang hari ia menjadi amat panjang kembali. Tetapi bukan ukuran panjang bayang-bayang saja yang senantiasa berubah, arah letaknyapun berubah-ubah pula. Jika matahari di bagian Timur, letak bayang-bayang ialah membujur ke arah Barat; jika matahari di sebelah Utara, bayang-bayang menunjuk ke arah Selatan. Cara umum boleh dikatakan : Azimuth matahari senantiasa berbeda 180° dengan Azimuth arah bayang-bayang. Tinggi dan Azimuth bayang-bayang merupakan petunjuk yang sangat berharga tentang kedudukan matahari; dengan perantaraannya kita dapat menentukan waktu dan menentukan kedudukan kita di atas Bumi. Hal itu akan dibicarakan lebih lanjut dalam Bab IV.

BAB II

KEDUDUKAN MATAHARI PADA AWAL WAKTU

1. Waktu Dhuhur

Bila kita membicarakan kedudukan matahari, senantiasa yang dimaksud ialah kedudukan titik pusat matahari. Jika matahari sedang berkulminasi, maka titik pusat matahari berkedudukan tepat di meridian. Dalam keadaan yang demikian, jika matahari tidak berkulminasi di Zenith, bayang-bayang sebuah benda yang terpancang tegak lurus di atas tanah, membujur tepat menurut arah Utara — Selatan. Garis poros bayang-bayang itu dan titik pusat matahari membentuk sebuah bidang, yang berimpitan dengan bidang meridian.

Segera setelah titik pusat matahari dalam perjalanan matahari arah ke Barat, melepaskan diri dari garis meridian, maka ujung bayang-bayang benda yang dimaksud tadi, akan melepaskan diri pula dari garis Utara — Selatan dan berpesong ke sebelah Timur. Bidang yang dibuat oleh poros bayang-bayang dan titik pusat matahari, sekarang membentuk sudut dengan bidang meridian, kedua bidang itu berpotong-potongan pada garis vertikal tempat. Keadaan demikian disebutkan sebagai ''tergelincir''nya matahari, yaitu awal *waktu dhuhur*. Dengan jalan demikian, maka secara Ilmu Pasti, *waktu berkulminasi matahari dapat ditetapkan sebagai batas permulaan waktu dhuhur.*

Boleh pula dikatakan, bahwa bila matahari dimeridian, maka poros bayang-bayang sebuah benda yang didirikan tegak lurus pada bidang dataran Bumi, membuat sudut siku-siku dengan garis Timur — Barat. Jika titik pusat matahari bergerak dari meridian, maka poros bayang-bayang itu berpesong arah ke Timur, dan sudut yang dibuatnya dengan garis i'tidal (garis Timur — Barat) bukan lagi 90°. Matahari dikatakan sudah ''tergelincir'' dan awal dhuhur sudah masuk.

Jika titik pusat matahari sedang dimeridian, orang belum boleh sembahyang. Tetapi segera setelah titik pusat matahari terlepas dari garis meridian, matahari sudah "cenderung" ke Barat dan waktu dhuhur sudah masuk.

2. Tinggi Ashar

Bila matahari sedang berkulminasi, bayang-bayang sebuah tongkat yang terpancang tegak lurus di atas tanah, mempunyai panjang tertentu. Jika matahari dalam perjalanan hariannya bergerak arah ke barat, ujung bayang-bayang itu bergerak perlahan-lahan arah ke timur; dalam pada itu ukuran panjang bayang-bayang tongkat itu berangsur-angsur bertambah pula.

Pada suatu waktu, panjang bayang-bayang tongkat itu bertambah dengan sepanjang tongkat itu sendiri, bila dibandingkan dengan panjangnya sewaktu matahari sedang berkulminasi. Pada saat itulah waktu ashar mulai masuk. Tinggi matahari pada waktu itu, dinamakan *tinggi ashar* ditandai dengan h_a.

Keadaan yang dimaksud itu diperlihatkan pada gambar 13.

Gambar 13

AB ialah tongkat yang dipancangkan tegak lurus di atas permukaan bumi, panjang tongkat itu diumpamakan *a*. Di waktu matahari berkulminasi, bayang-bayang ujung tongkat A jatuh pada titik C. Bayang-bayang seluruhnya ialah BC, yang panjang kita umpamakan *b*. Oleh karena tongkat AB terpancang tegak lurus, maka arah AB ialah arah garis vertikal, dan BAZ menuju ke titik Zenith. CAM berarah ke titik pusat matahari sewaktu di meridian ∠ ZAM ialah jarak dari titik Zenith ke titik pusat matahari yang kita namakan z_m (I,10).

Jika matahari setelah meliwati titik kulminasinya bergerak ke arah Barat dan kedudukannya di langit makin lama makin rendah, bayang-bayang tongkat AB menjadi bertambah panjang.

Pada awal waktu ashar, panjang bayang-bayang itu ialah BCD, yaitu sepanjang bayang-bayang pada awal waktu dhuhur, yaitu BC, ditambah dengan bagian CD, yang sama panjangnya dengan tinggi tongkat itu sendiri. Dengan jalan demikian, panjang bayang-bayang tongkat AB pada awal waktu ashar ialah b + a.

Pada awal waktu ashar, bayang-bayang ujung tongkat A jatuh pada titik D. DAS ialah arah ke titik pusat matahari pada saat masuknya waktu ashar. Dalam keadaan sebenarnya bayang-bayang BC dan bayang-bayang BD tentu tidak berimpit, sebagai pada gambar. Tujuan kita ialah hendak memperbandingkan panjang kedua bayang-bayang itu; itulah sebabnya maka digambarkan sedemikian :

Sudut ABD ialah tinggi matahari pada awal waktu ashar cotg

$$\angle ABD = \frac{BD}{AB}$$

$$= \frac{b+a}{a} = \frac{b}{a} + \frac{a}{a} = \frac{b}{a} + 1$$

$\frac{b}{a}$ ialah tg ∠ BAC, atau tg ∠ ZAM, jadi tg z_m.

Dengan jalan demikian kita peroleh rumus buat tinggi matahari pada awal waktu 'ashar, yaitu :

Rumus VII

$$\text{cotg } h_a = \text{tg } z_m + 1$$

Dengan kata-kata :
cotangens tinggi 'ashar sama besarnya dengan tangens jarak zenith titik pusat matahari sewaktu berkulminasi, ditambah dengan bilangan satu.

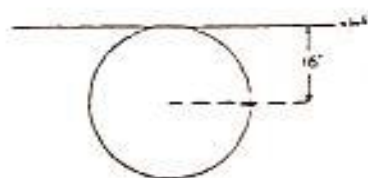
Contoh perhitungan :

Bila deklinasi matahari = —12°.24′ dan lintang tempat = + 5°.48′; berapakah tinggi matahari pada awal waktu 'ashar ?

z_m = / — 12°.24′ — (+ 5°.48′)/
= / — 12°.24′ — 5°.48′)
= / — 18°.12′ /
= 18°.12.
cotg h_a = tg 18°.12′ + 1 = 0,3288 + 1 = 1,3288
h_a = 36°.58′.

3. Terbit dan Terbenam

Waktu maghrib mulai pada saat setelah matahari terbenam (ghurub), dan waktu shubuh berakhir pada saat matahari terbit (syuruq).

Kita mengatakan bahwa matahari sedang terbenam, jika piringan matahari sudah seluruhnya berada di bawah ufuk (Buat keadaan terbit berlaku syarat-syarat yang sama). Pada waktu itu garis ufuk bersinggungan dengan tepi piringan matahari yang sebelah atas (lihat gambar 14).

Gambar 14

Titik pusat matahari sudah agak jauh di bawah ufuk. Jarak dari garis ufuk ke titik pusat matahari besarnya adalah seperdua garis tengah matahari. Garis tengah matahari besarnya rata-rata 32′; jadi jarak pusat matahari dari garis ufuk besarnya ½ × 32′ = 16′.

4. Refraksi

Dalam ilmu alam dikenal kejadian yang dinamakan *pembiasan cahaya* atau *refraksi.* Jika sebuah tongkat yang lurus kita masukkan miring ke dalam air, maka kita lihat pada perbatasan di antara udara dan air, tongkat itu seakan-akan membengkok secara tiba-tiba, hampir-hampir merupakan tongkat itu tampaknya *patah* pada tempat itu. Ujung tongkat yang terletak di dalam air seakan-akan "terangkat" dari kedudukannya yang semestinya, dan bagian tongkat yang di dalam air itu serasa menjadi agak pendek dari yang sebenarnya.

Pembiasan itu diterangkan dengan mengumpamakan, bahwa berkas-berkas cahaya yang datang dari bagian tongkat yang terendam di dalam air, sewaktu berpindah dari air ke udara, membelok dari arahnya yang semula. Jika berkas-berkas cahaya itu sampai ke mata kita, maka mata kita tidak dapat memperhitungkan pembelokan itu, sehingga kita melihat ujung tongkat yang terletak di dalam air itu, pada kelurusan arah yang ditempuh berkas cahaya itu di dalam udara. Akibatnya ialah bahwa ujung tongkat itu di lihat oleh mata kita pada suatu tempat yang lebih tinggi dari kedudukannya yang sebenarnya.

Pembiasan terjadi, jika cahaya berpindah dari zat perantara yang satu kepada zat perantara yang lain, dalam hal ini air dan udara, yang kepadatannya berbeda. Bias itupun hanya kelihatan, jika tongkat itu terletak miring di dalam air. Bila tongkat itu dimasukkan ke dalam air, menurut arah tegak lurus pada permukaan air, tongkat itu tidak kelihatan "patah" sama sekali.

Dalam astronomy dikenal pula semacam refraksi, yang dinamakan *pembiasan angkasa.* Angkasa yang meliputi bumi, tidak rata keadaan suhunya, sehingga boleh dianggap terdiri dari berbagai lapisan yang berbeda-beda tingkat suhunya dan berbeda-beda pula kadar kepadatannya. Makin jauh dari bumi, makin kurang padat susunan angkasa; makin dekat kepada permukaan bumi, makin padat susunan udara.

Cahaya yang datang dari sebuah benda langit B (lihat gambar 15, setiap kali dibelokkan arahnya, jika sinar itu berpindah dari lapisan-lapisan udara yang lebih padat. Dalam hal yang demikian, belokan, pembelokan itu berlaku dengan mendekati *garis normal,* yaitu sebuah ga-

yang kita namakan ufuk hakiki. Walaupun bidang horizon melalui titik pusat bumi dan bidang horizon melalui titik mata kita M, dipisahkan oleh jarak sebesar jari-jari bumi R ditambah dengan ketinggian mata kita di atas permukaan bumi, yaitu *h*, dalam ilmu Falak kedua bidang itu dianggap berimpit, jadi dipandang sebagai satu bidang horizon yang sama. Hal ini disebabkan oleh karena jarak-jarak dalam ilmu Falak sedemikian besarnya, sehingga panjang jari-jari bumi merupakan bilangan yang sama sekali tidak berarti, jika dibandingkan dengan jarak-jarak di langit yang tak terhinggakan besarnya itu. Itulah sebabnya, maka jarak dari mata kita ke titik zenith dianggap sama saja dengan jarak dari titik pusat bumi ke Zenith. Dan jarak dari mata kita ke titik Zenith dan titik Nadirpun dianggap sama panjang, walaupun beda di antara keduanya berjumlah 2 × jari-jari bumi.

Pemandangan kita terhadap benda-benda langit tidak dibatasi oleh ufuk hakiki, melainkan oleh bidang yang ditentukan oleh garis MN, sebuah garis dari titik M yang menyinggung pada permukaan bumi, pada titik P. Bidang itu kita namakan horizon pandangan atau ufuk mar - i.

Sebagai ternyata dari gambar, ufuk mar-i lebih rendah letaknya dari ufuk hakiki.

Jika kita di bagian-bagian yang terdahulu mengatakan bahwa jarak dari Zenith ke ufuk besarnya 90°, maka yang kita maksud ialah ufuk hakiki. Adapun jarak dari zenith keufuk mar-i lebih besar dari 90°. Perbedaan jarak dari Zenith keufuf hakiki dan keufuk mar-i itu dinamakan *kerendahan ufuk*. Bila matahari kita lihat sedang di ufuk (terbit atau terbenam), maka jumlah kerendahan ufuk itu harus ditambahkan kepada jumlah jarak zenith titik pusat matahari yang sudah kita peroleh (II, 4).

Makin tinggi kedudukan kita, makin besar bilangan kerendahan ufuk. Pada daftar kerendahan ufuk baik diperhatikan, bahwa daftar itu hanya berlaku sepenuhnya, bila bumi di bawah kita merupakan dataran rata sampai ke kaki langit. Hal semacam itu terjadi, bila kita misalnya di atas kapal di tengah laut, atau di daratan, jika tanah di bawah kita merupakan dataran yang buat jarak yang jauh senantiasa mengikuti bentuk lengkungan bumi.

Biasanya hal yang demikian tidak terjadi. Biar di dataran-dataran tinggi yang besar sekalipun, seperti dataran Bandung di Jawa Barat, dataran Agan di Sumatera Tengah dan lain-lain, jika kita berdiri pada suatu tempat yang ketinggian, bumi di bawah kita tidak merupakan bidang rata buat jarak yang agak jauh, artinya tidak dihalangi oleh rumah-rumah, pohon-pohon, bukit-bukit dan lain-lain malahan biasanya pada tepi-tepi dataran itu terdapat bukit-bukit atau tebing-tebing, yang menyebabkan pandangan kita " bebas lepas" sampai kekaki langit. Oleh karena itu, kerendahan ufuk mar-i menjadi tidak sebesar yang tercantum di dalam daftar.

Jarak dari mata kita ke kaki langit, yaitu jarak MP, yang pada gambar 16 kita beri tanda *d*, dapat dihitung dengan cara yang mudah.

Segitiga OPM merupakan segitiga siku-siku dengan sisi OP = R, yaitu jari-jari bumi, dan sisi miring OM = R + h; (h ialah ketinggian mata di atas permukaan bumi) panjang sisi *d* =

$$\sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

$$= \sqrt{2 Rh + h^2}$$

oleh karena R panjangnya kira-kira 6.000 Km, dan h biasanya berjumlah hanya beberapa Meter saja, maka dalam bentuk $2 Rh + h^2$, jumlah h^2 dapat diabaikan, sehingga kita memperoleh :

$$d = \sqrt{2 Rh}$$

2 R merupakan bilangan tetap yang berharga kira-kira 12.000 Km. Jika bilangan h yang dinyatakan dengan meter, kita pindahkan menjadi jumlah Km pula, sehingga kita memperdapat rumus :

Rumus VIII

$$\boxed{d = \sqrt{12\, h}}$$

Dengan kata-kata : Jika tinggi mata kita di atas bumi dinyatakan dengan jumlah meter, maka jumlah Kilometer jarak dari mata kita ke kaki langit adalah sebesar akar dari 12 × ketinggian mata kita itu.

Beberapa contoh :

1) Jika kita di atas sebuah kapal di tengah laut, dan tinggal mata kita kira-kira 10 meter di atas permukaan air, maka jauh pandangan kita ialah :

$$d = \sqrt{12 \times 10} = \sqrt{120} = \pm 11 \text{ Km.}$$

2) Bila kita di daratan, berdiri pada suatu tempat yang ketinggian, dan tinggi mata kita di atas dataran di bawah kita di taksir 200 m, batas pemandangan kita seharusnya jauhnya :

$$d = \sqrt{12 \times 200} = \sqrt{2.400} = \pm 49 \text{ Km.}$$

yaitu 49 Km dari tempat kita berdiri.

Jika jauh pemandangan kita tidak mencapai jarak 49 Km, maka jumlah kerendahan ufuk tidak pula perlu kita perhitungkan sebanyak yang tercantum di dalam daftar, tapi harus kita kurangi.

Dalam gambar 15 dapat dibuktikan, bahwa sudut DMN, yaitu kerendahan ufuk, sama besarnya dengan sudut MOP, dan sudut ini sama pula besarnya dengan bs. PQ. Oleh karena h merupakan bilangan yang amat kecil, panjang MP dapat dianggap sama dengan panjang busur PQ.

3) Bila jarak batas pandangan kita misalnya 25 Km, berapakah jumlah kerendahan ufuk yang harus kita perhitungkan ?

Kita ketahui bahwa 01′ keliling bumi panjang 1,85 Km, busur PQ besarnya $\frac{25}{1,85} \times 01' = 13',5$.

Kerendahan ufuk yang ditanyakan berjumlah 13′5.

4) Sekarang kita dapat pula dengan langsung mengetahui jumlah kerendahan ufuk, jika tinggi mata diketahui. Menurut rumus 8 : $d = \sqrt{12\ h}$, sedangkan 01′ keliling bumi = 1,85 Km. Jika demikian kerendahan ufuk dapat diperoleh dari rumus :

$$\frac{\sqrt{12\ h}}{1,85} = \sqrt{\frac{12\ h}{3,42}} = \sqrt{3,5\ h}$$

Bila dibandingkan dengan daftar kerendahan ufuk, jumlah-jumlah yang diperoleh dengan rumus ini, ternyata agak besar. Hal itu disebabkan oleh karena pengaruh refraksi mengakibatkan "terangkatnya" ufuk mar-i, sehingga jumlah kerendahan ufuk menjadi lebih kecil sedikit daripada yang diperoleh dengan perhitungan Ilmu Pasti. Rumus yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya ialah :

Rumus IX $\boxed{D' = \sqrt{3,2\ h}}$

Dengan kata-kata : Jumlah menit kerendahan ufuk sama dengan akar dari 3,2 kali jumlah meter ketinggian mata di atas permukaan bumi.

Contoh Soal :

1. Berapakah kerendahan ufuk mar-i, jika tinggi mata 30 m ?

$$D' = \sqrt{3,2\ h} = \sqrt{3,2 \times 30} = \sqrt{96} = 0{,}918.$$

2. Berapakah ketinggian mata, jika kerendahan ufuk = 17′ ?

$$\sqrt{3{,}2\,h} = 17'$$
$$3{,}2\,h = 17^2 = 289$$
$$h = 90.$$

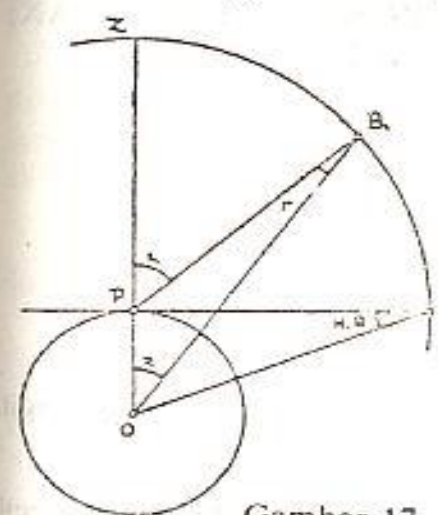
Dari pembicaraan di atas ternyata, bahwa untuk melakukan penentuan kerendahan ufuk dengan baik, harus diperhatikan keadaan setempat. Pada umumnya sudah boleh dianggap memadai, jika bagi tempat-tempat di tepi pantai boleh dianggap memadai, jika bagi tempat-tempat di tepi pantai (Jakarta, Pekalongan, Surabaya dan Medan) kerendahan ufuk ditetapkan sebanyak 10′, dan bagi tempat-tempat dipegunungan sebanyak 17′ atau 18′. Tetapi harus diperhatikan, bahwa jika ada keadaan istimewa, misalnya kita berdiri di lereng gunung yang tinggi dan pandangan kita bebas sampai ke kaki langit, di bagian arah matahari terbit atau terbenam, maka karendahan ufuk itu hendaklah disesuaikan dengan daftar atau rumus yang bersangkutan, atau paling tidak, kita ambil jumlah yang lebih besar dari 10′ dan 18′.

Jika buat kerendahan ufuk ditetapkan jumlah 10′, maka digabungkan dengan yang telah diperoleh di bagian yang terdahulu (II,4), bagian jarak zenith, titik pusat matahari pada saat terbit dan terbenam kita peroleh jumlah 90° + 16′ + 34′ + 10′ = 91°.00′.

6. Parallax

Dalam menghiśab persoalan-persoalan Ilmu Falak seringkali dipergunakan daftar-daftar yang memuat keterangan tentang kedudukan sebuah benda langit terhadap bumi; dalam hal yang demikian senantiasa dimaksud kedudukan terhadap titik pusat bumi. Jika dalam sebuah daftar misalnya dinyatakan jarak dari matahari ke bumi, maka yang dimaksud ialah jarak dari pusat matahari ke titik pusat bumi. Pengukuran deklinasipun pada hakikatnya didasarkan pada kedudukan di titik pusat bumi, karena bidang equator, darimana daftar jumlah deklinasi itu, memang melalui titik pusat bumi. (I,6 dan 8).

Berhubung dengan itu maka buat keperluan hisab, keterangan yang diperoleh oleh seorang peninjau pada tempat kedudukannya di permukaan bumi (misal tinggi suatu benda langit) harus terlebih dahulu "dipindahkan kepada kedudukan pusat bumi. Sebaliknya hasil-hasil hisab yang diperdapat dengan mempergunakan daftar-daftar astronomy, harus "dipindahkan" pula terlebih dahulu kepada kedudukan sepeninjau di permukaan bumi, jika akan dipakai buat keperluan penyelidikan atau pengawasan seperti ru'yah dan lain-lain.

Sebagai pernah diterangkan (II,5) bagi bintang-bintang yang letaknya amat jauh, tidak ada perbedaan dalam kedudukannya ditinjau dari titik pusat bumi atau dari tempat peninjauan di permukaan bumi. Tetapi bagi benda-benda langit yang jaraknya dari bumi agak dekat, terutama bulan dan matahari, perbedaan itu harus diperhitungkan.

Gambar 17

Bagi seorang peninjau di titik P dipermukaan bumi (lihat gambar 17), jarak zenith benda langit B_1 ialah sebesar z_1 yaitu sudut ZPB_1. Tetapi jika dipandang dari titik pusat bumi, jarak zenith itu besarnya z, yaitu sudut ZOB_1. Dari gambar dapat dilihat, bahwa $z_1 = z + p$ atau $z_1 - z_2 = p$ (sudut PB_1O)
Sudut p inilah yang dinamakan PARALLAX atau BEDA LIHAT.

Parallax ialah *perbedaan arah sebuah benda langit, dipandang dari titik, pusat bumi dan dari tempat peninjauan di permukaan bumi.*

Boleh pula dikatakan : Parallax ialah *sudut pada benda langit yang dibuat oleh dua garis,* yaitu *yang menghubungkan benda langit itu dengan titik pusat bumi, dan dengan tempat peninjauan di permukaan bumi* (pada gambar garis B_1P dan garis B_1O).

Nama lengkapnya sebenarnya ialah : GEOCENTRIC, EQUATORIAL PARALLAX.

Disebutkan ''geocentric'' oleh karena geo = bumi, centre = pusat; selanjutnya jarak dari titik pusat bumi kepermukaannya tidak sama pada semua tempat; di kutub ia lebih pendek daripada di khatulistiwa. Dalam ketentuan parallax senantiasa diperhitungkan jarak equator yang panjangnya : 6378,388 Km (jarak di kutub : 6356, 912 Km); itulah sebabnya maka dipakai istilah ''equatorial''.

Pada gambar dapat dilihat, bahwa bagi benda langit yang di zenith, tidak ada perbedaan arah kalau ditinjau dari permukaan atau dari titik pusat bumi; jadi dalam hal itu : p = 0. Makin rendah kedudukannya di langit, makin besar jumlah p nya. Dan bila kedudukannya di horizon, parallax itu paling besar harganya (dalam gambar sudut PBO). Jika dalam daftar disebutkan, parallax bulan atau parallax matahari dan parallax planit, maka parallax ufuk inilah yang dimaksud. Nama lengkapnya ialah GEOCENTRIC, EQUATORIAL, HORIZONTAL PARALLAX; dipendekkan menjadi horizontal parallax atau H.P.

Dari gambar dapat dilihat, bahwa :

Rumus X
$$\sin \text{H.P.} = \frac{R}{d}$$

R ialah jari-jari bumi, d jarak dari bumi ke titik pusat benda langit bersangkutan.

Makin jauh kedudukan sebuah benda langit dari bumi, makin kecil parallax ufuknya. Harga rata-rata bagi matahari ialah 08",8; bilangan ini amat kecil, dan biasanya tidak diperhitungkan dalam menghisab waktu-waktu sembahyang atau waktu-waktu terbit dan terbenam matahari.

Parallax bulan lebih besar. Jarak rata-rata bumi bulan besarnya 384.396 Km. Dengan rumus (10) kita peroleh :

$$\sin \text{H.P. bulan} = \frac{6378}{384.396} = 0{,}01659$$

$$\text{H.P. bulan} = 57'03''$$

Oleh karena jarak bumi-bulan dapat memendek menjadi 357.060 Km (lih. New Handbook of the Heavens) dan dapat memanjang sampai 407.000 Km, horizontal parallax bulan dapat pula berkisar di antara 61',4 (tanggal 10 — 6 — 60) dan (tanggal 1 — 7 — 1960) dan juga 53',9 (tanggal 24 — 6 — 60).

Bila bulan di atas horizon, maka rumus untuk menentukan p nya ialah :

Rumus XI
$$\text{P bulan} = \text{H.P.}_{\text{bulan}} \cos h_1$$

h_1 ialah tinggi bulan pada tempat peninjauan.

Jika disimpulkan segala yang dibicarakan hingga sekarang kita peroleh buat jarak zenith pusat bulan di waktu terbit dan terbenam jumlah berikut : 90° + seperdua garis tengah + refraksi + kerendahan ufuk horizontal parallax.

Harga seperdua garis tengah bulan berkisar di antara 16',7 dan 14',7 (tanggal 24 — 6 — 60).

7. Isya' dan Fajar

Waktu Isya' mulai masuk, bila warna merah di langit bagian Barat tempat matahari terbenam, sudah hilang sama sekali.

Apa yang menyebabkan langit berwarna merah, jika matahari sudah terbenam ?

Kalau matahari sudah di bawah ufuk, cahayanya yang langsung mengenai tempat peninjauan di atas bumi, tidak ada lagi. Tetapi sinar-sinar matahari yang dipantulkan dan dibiaskan (disebarkan) masih dapat mencapai mata sipeninjau.

Bila pada siang hari matahari sedang bersinar dan kita berdiri di dalam rumah, tidak ada pula cahaya matahari yang secara langsung sam-

pai ke mata kita. Tetapi segala benda-benda di dalam rumah seperti kursi, meja, lemari dan lain-lain tampak dengan jelas oleh kita, dan di dalam rumah tetap ''terang'' kelihatannya.

Cahaya matahari sampai ke dalam rumah secara dipantulkan oleh berbagai-bagai benda yang terletak di luar rumah dan langsung ditimpa sinar matahari. Tetapi lebih penting daripada benda-benda yang dapat kita lihat ialah berjuta-juta butir debu dan benda-benda sangat halus yang beterbangan di udara. Walaupun ukurannya amat kecil, sehingga tidak tampak oleh kita, dan cahaya yang langsung datang dari matahari kemudian dipantulkan oleh satu-satu butiran itu amat sedikit, oleh jumlahnya yang begitu besar, benda-benda halus itu (partikel-partikel) memainkan peranan yang amat penting dalam menyebarkan cahaya matahari sampai jauh ke semua sudut di dalam rumah-rumah kita. Debu-debu halus itu bolehlah dipandang sebagai suatu ni'mat Allah yang amat berharga, karena tanpa partikel itu - (demikianlah dinamakan bagian yang sangat kecil itu) - manusia yang hidup di atas bumi akan terpaksa pada siang hari bolong memasang penerangan di dalam rumah mereka.

Partikel-partikel debu-debu dan butiran-butiran air terdapat pula di bagian angkasa yang amat tinggi; malahan di sana ukurannya lebih halus lagi, tetapi peranannya terhadap penyebaran cahaya matahari tidak kurang pentingnya.

Sinar matahari yang pada umumnya kelihatan kepada kita putih warnanya sebenarnya terdiri dari sinar berbagai warna, yaitu yang terpenting diantaranya warna *biru* dan warna *merah*. Tiap-tiap macam sinar mempunyai panjang gelombang yang khas bagi jenis masing-masing sinar itu. Yang paling pendek gelombang ialah sinar biru, sedang yang paling panjang sinar merah.

Bila sinar matahari menemui dalam perjalanannya partikel-partikel yang amat kecil, yang ukurannya lebih pendek daripada panjang gelombang cahaya, maka terjadi penyebaran luar biasa. Kadar penyebaran cahaya oleh partikel-partikel yang amat halus itu berbanding sebagai kebalikan pangkat empat panjang gelombang. Berhubung dengan itu, cahaya biru disebarkan 9 × lebih kuat daripada cahaya merah. Akibatnya ialah, bahwa pada hari yang cerah cahaya yang diterima mata kita terbanyak terdiri dari warna biru. Itulah yang menyebabkan warna langit pada siang hari biru kelihatannya.

Pada waktu matahari terbit dan terbenam, cahaya yang berasal dari matahari sudah terlalu banyak kehilangan unsur-unsurnya yang bergelombang pendek sebelum mencapai mata peninjau; oleh karena itu warnanya kelihatan kuning atau malahan merah.

Jika partikel-partikel pada bagian yang amat tinggi diangkasa itu masih menerima sinar matahari, cahaya merah masih dapat dilihat. Bayangan merah sesudah matahari terbenam tidak kelihatan lagi jika matahari sudah 18° di bawah ufuk, jadi jarak zenith pusat matahari sama dengan 108°. Pada saat itu, waktu magrib berakhir, dan masuklah waktu Isja'. (90° + 18° = 108°).

Dalam astronomy umum dikenal pula istilah bagi masa segera setelah matahari terbenam dan sebelum matahari terbit, yaitu ''twilight'', yang dibagi kepada 3 tingkat, yaitu berturut-turut :

1. civil twilight
2. nautical twilight
3. astronomical twilight.

Batas civil twilight ialah jika matahari 06° di bawah horizon; pada waktu itu benda-benda di lapangan terbuka masih tampak batas-batas bentuknya; bintang-bintang yang paling terang dapat dilihat.

Batas nautical twilight ialah jika matahari 12° di bawah Horizon. Jika kita di laut, ufuk hampir-hampir tidak kelihatan; semua bintang terang dapat dilihat.

Batas astronomical twilight ialah, bila matahari 18° di bawah ufuk; Pada waktu itu gelap malam sudah sempurna. (awal waktu Isya).

Awal waktu shubuh, yang ditandai oleh kelihatannya fajar shadiq, dianggap masuk, jika matahari 20° di bawah ufuk, jadi jarak zenith matahari berjumlah 110°. (90° + 20°).

8. Ikhtisar

Bila kita buat ikhtisar kedudukan titik pusat matahari pada awal waktu-waktu sembahyang wajib yang 5, kita peroleh buat :

a. waktu dhuhur : dimeridian : $h_m = (90° - / \varnothing - \delta /)$
b. waktu ashar : $\cot h_a = \operatorname{tg} z_m + 1$
c. waktu maghrib : $h = -01°$
d. waktu isya' : $h = -18°$
e. waktu shubuh : $h = -20°$
f. Sjuruq : $h = -01°$

Sjuruq ialah sebagai akhir waktu shubuh.

BAB III

WAKTU DAN TEMPAT

1. Waktu Surya

Waktu yang kita pergunakan sehari-hari sebagai yang ditunjukkan oleh jam dan arloji yang kita pakai dan dipergunakan pada siaran radio dan televisi, adalah didasarkan pada perjalanan harian matahari. Jika matahari terbit, kita katakan bahwa hari pukul 06, jika matahari berkulminasi atas hari pukul 12, jika matahari terbenam hari pukul 18, dan jika matahari berkulminasi bawah hari pukul 24, atau boleh pula kita sebut pukul 00 bagi hari yang baru. Dengan jalan demikian, saat yang dalam percakapan sehari-hari lebih umum dikatakan "pukul 12 tengah malam, jika matahari sedang berkulminasi-bawah merupakan awal dan akhir perhitungan hari; misalnya : pukul 24 hari Senin sama dengan pukul 00 hari Selasa. Buat waktu-waktu selanjutnya dalam sehari semalam dapat dikatakan secara umum, bahwa waktu matahari ialah sudut waktu titik pusat matahari ditambah dengan 12 jam. Jika sudut waktu matahari (1,7) misalnya 30° (= 2 jam) hari adalah pukul 2 + 12 = pukul 14. Sebaliknya, pada pukul 20 misalnya, sudut waktu matahari berjumlah (20 — 12) jam = 8 jam atau 120°.

Sebenarnya peredaran matahari bukanlah merupakan dasar pengukuran waktu yang sempurna. Hal itu disebabkan oleh karena jalannya tidak benar-benar rata, artinya kadang-kadang ia agak cepat, kadang-kadang agak lambat. Keadaan itu dapat diketahui, jika kita ukur dengan jari-jari biasa, misalnya yang digerakkan oleh per dan roda-roda yang bergerigi. Akan ternyata, bahwa masa di antara dua kali matahari berkulminasi, adakalanya tidak tepat 24 jam lamanya, tetapi pada suatu hari lebih dari 24 jam, pada hari lain kurang 24 jam.

Untuk mengetahui cepat dan lambatnya perjalanan *matahari hakiki*, diciptakan orang sebagai bandingannya sebuah matahari khayalan, yang jalannya sungguh-sungguh rata, dengan pengertian, bahwa masa diantara

dua kali kedudukannya yang sama, misalnya dua kali berkulminasi, senantiasa lamanya 24 jam. Matahari khayalan itu dinamakan *matahari pertengahan,* dan (mean solar time), disingkat menjadi *waktu pertengahan* atau *waktu wasathy.* Waktu yang ditunjukkannya oleh matahari hakiki dinamakan *waktu surya hakiki setempat* (apparent solar time), dipendekkan menjadi *waktu hakiki setempat,* atau ada kalanya menjadi *waktu surya.*

Rumus XII

Waktu hakiki setempat = sudut waktu matahari + 12^j

Waktu surya pertengahan ada kalanya dinamakan waktu umum (civil time); hal itu disebabkan oleh karena waktu itulah yang umum dipakai dalam penghidupan sehari-hari, dan hanya berlaku buat keadaan setempat (III,4).

Jika diukur jangka waktu di antara dua kali matahari hakiki berkulminasi pada dua hari yang berturut-turut dengan ukuran waktu pertengahan, kita peroleh buat 4 macam tanggal dalam tahun 1970 ikhtisar sebagai berikut :

1 Januari	24^j	00^m	$28^d,54$
1 April	25^j	59^m	$42^d,14$
1 Juli	24^j	00^m	$11^d,62$
1 Oktober	25^j	59^m	$40^d,96$

Ternyata bahwa sehari-semalam yang paling panjang ialah 24^j 00^m 28^d, dan yang paling pendek ialah 23^j 59^d 41^d berbeda sampai lebih dari menit atau tepatnya 47^d. Yang menyebabkan perjalanan matahari tidak rata ialah dua keadaan :

pertama : oleh karena tempuhan bumi tidak berbentuk lingkaran, melainkan berbentuk ellips,

kedua : oleh karena poros bumi tegaknya miring pada bidang tempuhannya, yaitu sekitar 66½°.

2. Tempuhan Bumi

Gerakan bumi yang terpenting ada dua macam :
Pertama : Perpustakaan bumi sekeliling porosnya menurut arah Barat-Timur, yang berlaku dalam masa sehari semalam (rotation), dan menyebabkan kita, penghuni bumi, melihat semua benda langit bergerak dari Timur ke Barat. Satu gerakan penuh lamanya satu hari; oleh karena itu gerakan ini dinamakan *gerakan harian.*

Kedua : peredaran bumi sekeliling matahari, yang juga berlaku menurut arah Barat-Timur dalam masa satu tahun, dan dinamakan *gerakan tahunan* (revolution). Secara nisbi gerakan itu kita ketahui, oleh karena setiap hari kita lihat bergeser pada kedudukannya di antara bintang-bintang, bila dibandingkan dengan tempatnya sehari sebelumnya. Yang paling mudah mengawasi gerakan itu ialah, jika beberapa hari berturut-turut pada waktu maghrib kita perhatikan bintang-bintang yang baru saja terbit di bagian ufuk sebelah Timur. Dalam beberapa hari itu saja sudah akan kentara sekali, bahwa bintang-bintang yang baru terbit itu setiap hari kedudukannya bertambah tinggi di atas ufuk. Itu berarti, bahwa jarak di antara bintang-bintang itu dan matahari setiap kali makin bertambah dekat. Oleh karena bintang-bintang itu amat jauh letaknya, arah kita melihatnya tidak berobah-obah. Kesimpulan satu-satunya ialah, bahwa mataharilah yang bergerak ke arah bintang-bintang itu, jadi dalam hal ini menurut arah dari Barat ke Timur.

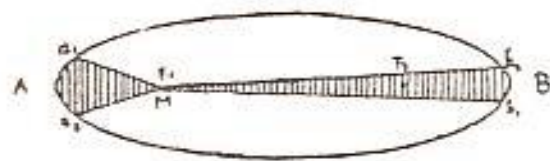
Tempuhan atau falak bumi sekitar matahari itu dinamakan ekliptika. Andaikata ekliptika itu berbentuk lingkaran dan perjalanan tahunan matahari berlaku dengan rata, tentulah dalam setiap satu hari ditempuh oleh bumi kira-kira 01°, dan secara nisbi akan kita lihat matahari bergeser setiap hari sebanyak 01° arah ke Timur di antara bintang-bintang.

Tetapi ekliptika berbentuk ellips, yaitu suatu lengkungan tertutup yang mempunyai dua buah titik api (F_1 dan F_2 pada gambar 12). Pergerakan bumi (dan planit-planit lain) sekitar matahari dinyatakan dengan amat tepat dalam tiga buah hukum yang ditemukan oleh KEPLER (1571 — 1630), dan diberi nama menurut nama penemunya, yaitu *hukum-hukum Kepler.* (Hukum yang ketiga tidak dibicarakan pada kesempatan ini).

Hukum pertama berbunyi : Tempuhan setiap planit bentuknya berupa ellips dengan matahari pada salah satu titik apinya.

Hukum Kedua berbunyi : Setiap planit bergerak dengan kecepatan yang demikian, sehingga oleh garis yang menghubungkan planit dengan matahari dilukiskan daerah-daerah yang sama luasnya dalam jangka waktu yang sama panjangnya.

Oleh karena ekliptika berbentuk ellips, jarak bumi-matahari tidak senantiasa sama. Titik ekliptika yang terdekat kepada matahari (A dalam gambar; M ialah matahari) dinamakan *perihelion,* dan diduduki bumi pada awal bulan Januari (dalam tahun 1956 : 2 jan.). Titik ekliptika yang terjauh dari matahari (B dalam gambar 18) dinamakan aphelion, dan diduduki oleh bumi pada awal bulan Juli (tahun 1956 : 5 Juli).

Hukum Kepler yang kedua dapat diberikan penjelasan sebagai berikut :

Gambar 18

Jika bumi guna menempuh jarak dari b_1 ke b_2 (lihat gambar 18) memerlukan waktu yang sama panjangnya dengan waktu yang diperlukannya untuk menempuh jarak $a_1 - a_2$, maka daerah di B (yang bergaris) dan daerah di-A luasnya sama. Oleh karena jarak dari B ke matahari lebih jauh daripada jarak dari A ke matahari, maka tak boleh tidak $b_1 - b_2$ lebih pendek daripada jarak $a_1 - a_2$. Pada hal kedua jarak itu ditempuh oleh bumi dalam jangka waktu yang sama panjangnya. Itu berarti, bahwa jika bumi di-aphelion (*jauh* dari matahari) jalannya lambat; jika ia di-perihelion (*dekat* ke matahari) jalannya cepat.

Jika bumi bergerak cepat, matahari kita lihat bergerak cepat pula dalam perjalanan tahunannya di antara bintang-bintang; dan jika bumi bergerak lambat, perjalanan matahari-pun kita lihat berlangsung lambat pula. Berhubung dengan itu, jarak yang ditempuh matahari dalam perjalanan nisbinya di antara bintang-bintang senantiasa berubah-ubah sekitar 01° dalam sehari semalam.

Makin cepat gerak matahari, makin jauh jarak yang ditempuhnya dalam perjalanan tahunannya arah ke Timur; hal itu mengakibatkan terlambatnya matahari mencapai meridian dalam perjalanan hariannya, sehingga hari surya hakiki menjadi lebih panjang. Sebaliknya, jika matahari bergerak lambat dalam perjalanan tahunannya, hari surya hakiki menjadi lebih pendek.

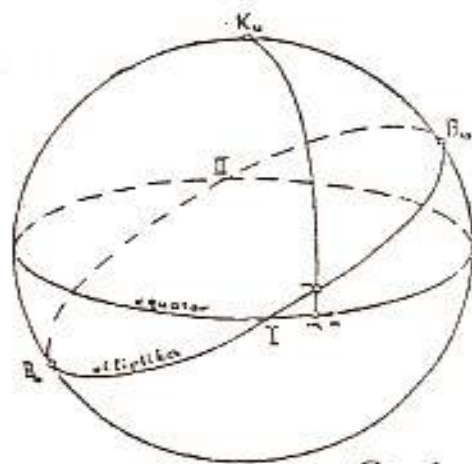
Jelasnya, bahwa jarak tempuhan matahari dalam satu hari yang senantiasa berubah-ubah itu, mengakibatkan hari-hari surya hakiki dalam satu tahun menjadi tidak sama panjangnya.

3. Ekliptika

Jalan yang secara nisbi kita lihat ditempuh matahari dalam perjalanan tahunannya dinamakan *ekliptika* pula. Sebagaimana sudah dikemukakan (III,1), waktu surya didasarkan pada perjalanan harian matahari yang disebabkan oleh perputaran bumi sekeliling porosnya. Berkenaan dengan itu, suatu pergerakan yang rata hanya dapat diperlihatkan oleh titik yang terletak pada sebuah bidang yang tegak lurus pada poros bumi. Itulah sebabnya, maka matahari pertengahan ditempatkan di-equator langit (I,6) dan bukan di-ekliptika.

Sudut di antara bidang equator dan bidang ekliptika besarnya 23°.27', dan biasanya dinyatakan dengan huruf Yunani (= epsilon). Lingkaran ekliptika dan lingkaran equator berpotong-potongan pada dua titik (lihat gambar 18). Titik I diduduki matahari pada tanggal 21 Maret, sewaktu matahari dalam perjalanan tahunannya sepanjang ekliptika menurut arah Barat-Timur *melintasi* lingkaran equator dan berpindah dari belahan langit sebelah Selatan kebelahan langit sebelah Utara. Titik itu dinamakan *titik lintas pertama,* atau *titik Aries,* atau *titik Hamal.* Titik II diduduki matahari pada tanggal 23 September, dan dinamakan *titik lintas kedua.*

Pada kedudukan dititik Bu dinamakan *titik balik Utara,* diduduki matahari pada tanggal 21 Juni. Pada kedudukan dititik B, , yaitu *titik balik Selatan* yang diduduki matahari pada tanggal 22 Desember, deklinasi matahari pada tanggal 22 Desember, deklinasi matahari paling besar pula, tetapi berarah Selatan.

Jarak melalui ekliptika dihitung dari titik lintas pertama menurut arah Barat-Timur dinamakan *bujur langit*. Bagaimana hubungan di antara waktu yang ditunjukkan oleh matahari hakiki yang bergerak sepanjang ekliptika dan matahari pertengahan yang bergerak sepanjang equator ? Kita umpamakan, bahwa keduanya bergerak dengan kecepatan yang rata.

Gambar 19

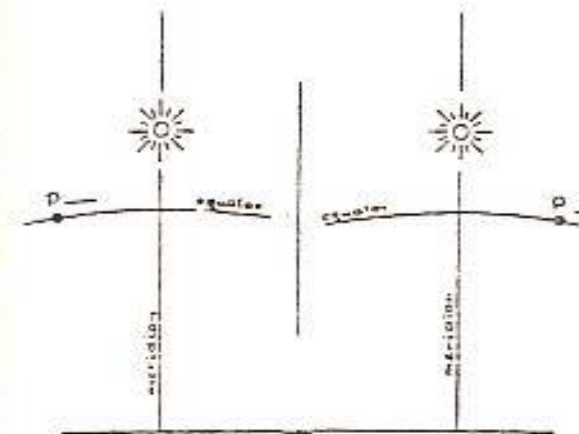
Bila keduanya dititik I (lihat gambar 19), tentu tidak ada perbedaan dalam penunjukan waktu hakiki dan waktu pertengahan. Bila matahari pertengahan mencapai titik m, sedangkan kedua jarak dari titik m dan titik n ke titik I panjangnya sama. Untuk membandingkan penunjukan kedua macam waktu itu, kedudukan titik m harus diproyeksikan pada lingkaran equator. Buat keperluan itu kita lukiskan sebuah lingkaran besar dari titik kutub melalui titik m, tegak lurus pada lingkaran equator. Garis proyeksi itu jatuh pada titik m_1, yang tentu terletak di antara titik n dan titik I, oleh karena dalam segitiga siku-siku I-m-m_1, sisi I-m_1 lebih pendek daripada sisi I-m, sedangkan I-n sama panjang dengan I-m. Dengan jalan demikian matahari pertengahan (n) bergerak terdahulu dalam perjalanan tahunannya dari matahari hakiki (m_1), atau : matahari pertengahan berkedudukan *sebelah timur* dari matahari hakiki.

Jika matahari dititik B_u, yaitu pada jarak 90° dari titik lintas pertama, proyeksinya pada lingkaran equator jatuh pada suatu titik yang jaraknya ke titik lintas pertamapun 90°, akibatnya : tidak ada perbedaan di antara waktu hakiki dan waktu pertengahan.

Selanjutnya, bila matahari hakiki berkedudukan pada suatu tempat di antara B_u dan titik lintas kedua, matahari pertengahan akan berkedudukan *sebelah Barat matahari* hakiki.

Sekarang dapat kita simpulkan hubungan di antara matahari hakiki dan matahari pertengahan, yaitu sebagai berikut : Andaikatapun matahari hakiki bergerak dengan kecepatan rata sepanjang ekliptika, perbedaan di antara waktu hakiki dan waktu pertengahan tetap ada; hanya pada *empat* keadaan saja perbedaan itu berjumlah 0, yaitu bila bujur langit matahari berjumlah 0°, 90°, 18° dan 270°.

4. Perata Waktu

Oleh karena perjalanan waktu hakiki tidak teratur, terdapatlah perbedaan yang senantiasa berubah-ubah di antara waktu hakiki dan waktu pertengahan. Perbedaan itu dinamakan *perata waktu* (equation of time), biasanya dinyatakan dengan huruf kecil *e*. Boleh pula dikatakan, bahwa perata waktu adalah selisih di antara sudut waktu matahari hakiki dan matahari pertengahan.

Gambar 20

Gambar 20 sebelah kiri memperlihatkan keadaan, jika matahari pertengahan berkedudukan *sebelah Timur* matahari hakiki, jadi matahari pertengahan "tertinggal" dalam perjalanan hariannya terhadap matahari hakiki. (Dalam gambar diumpamakan, kita melihat ke Selatan sehingga matahari kelihatannya bergerak dari kiri ke kanan yaitu menurut arah anak panah; P ialah matahari pertengahan).

Pada saat matahari hakiki mencapai tempatnya di-meridian, matahari pertengahan (P) masih sebelah Timur meridian. Dalam keadaan demikian waktu hakiki menunjukkan pukul 12.00, tetapi menurut waktu pertengahan hari belum lagi pukul 12.00, tetapi misalnya pukul 11.54. Perata waktu besarnya 12.00 — 11.54 = + 6 menit.

Gambar sebelah kanan memperlihatkan keadaan, bila matahari pertengahan "terdahulu" dari matahari hakiki. Jika hari pukul 12.00 menurut waktu hakiki, waktu pertengahan menunjukkan pukul 12.00

lebih, misalnya pukul 12.06. Perata waktu besarnya 12.00 — 12.06 = — 6 menit.

rumus XIII

Perata waktu = waktu hakiki — waktu pertengahan

Persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut :

rumus XIV

Waktu pertengahan = waktu hakiki — perata waktu

Dengan kata-kata :

Perata waktu ialah jumlah yang harus *dikurangkan* dari waktu hakiki, untuk memperoleh waktu pertengahan.

Kemudian apabila rumus kita hubungkan dengan rumus akan didapatlah rumus :

rumus XV

Waktu pertengahan setempat = $t_{mh} + 12^j — e$

Catatan :

Dalam setengah buku, perata waktu didefinisikan sebagai waktu pertengahan - waktu hakiki. Berhubung dengan itu semua tanda *e* menjadi berlawanan dengan yang dinyatakan di atas, yaitu tanda positip (+) menjadi tanda negatip (—) dan sebaliknya. Perbedaan tanda itu *tidak* merubah ketentuan-ketentuan mengenai waktu hakiki dan waktu pertengahan, sebagai yang telah diterangkan. Hanya saja, dalam rumus-rumus yang memuat perata waktu, tanda tambah (+) harus diganti dengan kurang (—), dan begitu sebaliknya.

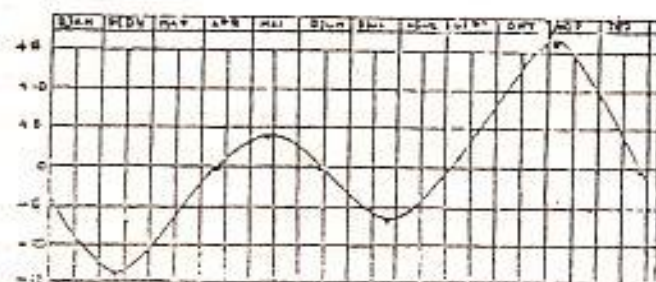
5. Grafik Perata Waktu

Pada gambar 21 dilukiskan grafik tahunan perata waktu menurut pengertian : waktu hakiki - waktu pertengahan. Grafik itu kelihatannya sangat tidak teratur, seakan-akan dibuat semau-maunya saja. Hal itu disebabkan oleh karena kedua keadaan yang mengakibatkan adanya perata waktu, yaitu bentuk tempuhan bumi berupa ellips dan miringnya ekliptika, memberikan pengaruh sendiri-sendiri, sehingga kadang-kadang pengaruh yang satu diperkuat oleh pengaruh yang lain; atau, adakalanya pula, keduanya melalukan pengaruh yang saling bertentangan, sehingga menghilangkan atau memperlemah pengaruh masing-masing.

Tidak teraturnya grafik itu terlihat dari kedudukan titik-titik nol, yang tidak sama besar jarak di antara sesamanya. Begitu pula, kedudukan titik-titik maksimum dan besarnya harga maksimum itu, tidak memperlihatkan sesuatu yang beraturan. Tetapi ada yang menarik perhatian yaitu bahwa titik nol terdapat pada *empat* tempat, yaitu sesuai dengan yang telah diterangkan (III.3). Perata waktu berjumlah nol pada tanggal 15 April, 4 Juni, 1 September dan 25 Desember. Pada tanggal-tanggal tersebut sudut waktu matahari pertengahan sama besarnya dengan sudut waktu matahari hakiki.

Harga terbesar terdapat empat kali pula yaitu dalam tahun 1956 : tanggal 12 Februari : $14^m\ 20^d$; tanggal 15 Mei : + $03^m\ 44^d$, tanggal 26 Juli : —$06^m\ 24^d$ dan tanggal 3 Nopember + $16^m\ 23^d$. Pada tanggal 12 Februari matahari berkulminasi pukul 12 — (— $14^m\ 20^d$) = pk $12^j 43^m\ 20^d$; dan pada tanggal 3 Nopember pukul 12 — (+ $16^m\ 23^d$) = pk $11^j 43^m\ 37^d$. Itu berarti, bahwa waktu dhuhur yang paling lekas dan waktu dhuhur yang paling lambat dapat berbeda sampai setengah jam lebih. Hal itu kita alami, kalau kita di sekitar akhir bulan Oktober dan awal bulan Nopember pada hari Jum'at agak lekas pergi ke masjid dan lekas pula kembali dari melakukan shalat Jum'at daripada tanggal-tanggal yang lain.

Baik pula diperhatikan, bahwa di sekitar titik nol, grafik perata waktu sangat miring. Itu menunjukkan, bahwa perubahan harga bilangan 0 dari sehari ke sehari berlaku sangat cepat. Begitu grafik yang sangat menanjak terdapat dalam bulan Desember. Pada tanggal 23 Desember perata waktu berharga + $01^m\ 02^d$,44, hari keesokannya + $0^m\ 32^d$,57.

Perbedaan dalam satu hari ialah 29ᵈ ,87 atau hampir setengah menit. Itu sama dengan perbedaan 01 ¼ detik dalam setiap jam. Dari waktu matahari terbit hingga waktu matahari terbenam perbedaan itu bagi kita di Indonesia berjumlah paling sedikit 15 detik, yaitu suatu jumlah yang tak boleh diabaikan.

Gambar 21

Perata waktu yang tidak teratur itu adakalanya mengakibatkan bahwa waktu selama beberapa hari berturut-turut senantiasa masuk pada waktu yang sama. Sebagai contoh kita kemukakan sebuah tempat dengan lintang + 10°, yang selama bulan Maret dan April senantiasa mengalami matahari terbenam pada pukul 18ʲ11ᵐ waktu setempat. Atau lebih teliti : (tahun 1956) dari tanggal 1 Maret sampai tanggal 5 April pukul 18ʲ11ᵐ , dari tanggal 6 April sampai tanggal 17 April pukul 18ʲ10ᵐ , dari tanggal 18 April sampai tanggal 30 April pukul 18ʲ11ᵐ . Jadi selama dua bulan waktu ghurub (awal maghrib, waktu berbuka puasa) boleh dikatakan tidak berubah-rubah).

Hal itu bukan disebabkan oleh karena lama seperdua siang (dari tengah hari hingga ghurub) dalam masa bulan itu tetap sama. Deklinasi matahari berjumlah -7°40′ pada tanggal 1 Maret, pada tanggal 30 April + 14°42′. Demikian pula seperdua siang lamanya pada tanggal 1 Maret 05ʲ58ᵐ , pada tanggal 30 April 06ʲ13ᵐ . Tetapi sebagaimana dapat dilihat pada grafik, jumlah perata waktu dalam masa itu berubah pula, yaitu dari -12ᵐ 30ᵈ pada tanggal 1 Maret menjadi + 02ᵐ 46ᵈ pada tanggal 30 April.

Rupanya, sebanyak bertambahnya seperdua siang, sebanyak itu pula bertambahnya jumlah perata waktu, hal mana mengakibatkan lebih

lekasnya matahari mencapai meridian. Waktu kulminasi matahari inilah yang setiap hari mundur sedikit-sedikit, sesuai dengan penambahan lama siang, sehingga waktu maghrib tidak mengalami perubahan selama 61 hari itu.

6. Lintang dan Bujur

Tempat-tempat di atas bumi ditentukan kedudukannya dengan *lintang*, yang biasanya ditandai dengan huruf Yunani Ø(phi = baca : fi) dan *dengan bujur*, yang biasanya ditandai dengan huruf Yunani λ (lambda). Keduanya diukur dengan derajat dan menit.

Lintang ialah jarak dari suatu tempat ke khatulistiwa diukur dengan melalui meridian bumi; lintang sebelah Selatan khatulistiwa diberi tanda negatip (—); sedang lintang sebelah Utara tanda positip (+). Tempat-tempat yang sama lintangnya terletak pada suatu lingkaran paralel. Semua lingkaran paralel letaknya sejajar dengan khatulistiwa (paralel artinya sejajar), makin ke utara dan ke selatan makin kecil, akhirnya dikedua kutub merupakan sebuah titik saja.

Equator bumi panjangnya 40.000 Km. 1°, pada equator panjangnya 111 Km. 1° , pada lingkaran paralel diperoleh dengan rumus

rumus XVI

1° paralel = 111 Km X cos lintang

Contoh :

Pada lintang 21°20′ (= lintang Makkah) panjang 01° lingkaran paralel ialah : 111 Km X cos 21°20′ = 111 Km X 0,93 = ± 103 Km

Meridian bumi ialah seperdua lingkaran besar yang menghubungkan kutub Utara dan kutub Selatan bumi. Jarak di antara dua meridian yang melalui dua buah tempat, menunjukkan perbedaan bujur di antara kedua tempat itu. Meridian yang dipergunakan untuk memulai mengukur bujur tempat-tempat di seluruh dunia, biasanya ialah meridian melalui kota

Greenwich (dekat London). Meridian-meridian adakalanya diberi nama menurut jaraknya dari meridian yang melalui Greenwich itu, misalnya meridian nol, meridian + 120°, meridian -29° 19 dan lain-lain (+ artinya sebelah Timur, - artinya sebelah Barat dari meridian nol); adakalanya menurut nama negeri yang dilaluinya, misalnya meridian Greenwich, meridian Greenwich, meridian Makkah, meridian Malang dan lain-lain.

7. Lingkaran Terang

Oleh penyinaran matahari, dunia terbagi dalam 2 bagian, yaitu bagian yang terang karena menerima penyinaran matahari, dan bagian yang gelap oleh karena tidak menerima penyinaran. Batas di antara kedua bagian itu merupakan sebuah lingkaran yang kita namakan *lingkaran terang*.

Bila deklinasi matahari 0°, lingkaran terang itu berimpit dengan meridian. Pada keadaan yang demikian, bagi semua tempat yang terletak pada satu meridian, matahari terbit dan terbenam pada waktu yang sama.

Bila deklinasi matahari bukan 0°, lingkaran terang membuat sudut dengan meridian; makin jauh matahari dari khatulistiwa, makin besar sudut itu. Dalam keadaan yang demikian, tempat-tempat yang terletak pada satu meridian, tidak lagi pada waktu yang sama mengalami matahari terbit dan matahari terbenam. Jika deklinasi matahari Selatan, tempat-tempat di bagian Selatan meridianlah yang terlebih dahulu melihat matahari terbit, dan paling terkemudian melihat matahari terbenam. Jika deklinasi matahari Utara, bagian meridian sebelah Utara yang lebih dahulu menerima sinar matahari pada pagi hari, tetapi paling akhir pula melihat matahari terbenam.

Sebagai contoh kita ambil keadaan pada tanggal 24 Desember. Pada daftar di bawah ini tercantum waktu-waktu terbit dan terbenam matahari menurut waktu setempat bagi berbagai-bagai lintang pada meridian yang sama (contoh ini diambil dari tahun 1956 bagi meridian 0°; bagi tahun-tahun yang lain dan meridian yang lain, tetapi tanggal tetap 24 Desember waktu-waktu yang didaftarkan boleh dikatakan tidak berbeda :

Lintang :	**-60°**	**-40°**	**-30°**	**0°**	**+30°**	**+45°**	**+60°**
matahari terbit	02.55	04.13	04.52	05.43	06.32	07.10	11.
matahari terbenam	20.40	19.21	18.41	17.50	17.01	16.24	12.

Sekarang dapat kita simpulkan, bahwa : *perbedaan Lintang* pada umumya mengakibatkan *perbedaan masuknya waktu shalat* bagi berbagai tempat yang terletak pada *meridian yang sama*. Hanya waktu *dhuhur* yang *selalu* masuk pada waktu yang sama bagi semua tempat yang terletak pada *meridian yang sama* (lihat juga III,8).

8. Waktu Meridian

Waktu surya hakiki dan waktu pertengahan senantiasa ditinjau dengan membandingkan sudut waktu, yang besarnya dihitung dari *meridian setempat* (1,7); Berhubung dengan itu kedua macam waktu itu adalah bersifat setempat. Jika kita berpindah ke timur, atau ke barat, meridian kita berubah dan waktu yang ditunjukkan oleh jam kita tentu harus berubah pula.

Setiap tempat mempunyai waktu setempat sendiri-sendiri, misalnya waktu Jakarta, waktu Makkah, waktu Greenwich dan lain-lain. Oleh karena meridianlah yang merupakan dasar bagi penentuan waktu setempat, maka waktu-waktu itu dapat pula dinamakan menurut meridian masing-masing tempat. Misalnya : Greenwich terletak pada meridian 0°; waktu setempat di Greenwich (Greenwich mean Time atau Greenwich civil Time disingkat GMT dan GCT). Dapat dinamakan pula waktu meridian 0, jadi berlaku buat semua tempat yang terletak pada meridian 0. Makkah terletak pada meridian + 40°14', waktu Makkah adalah waktu setempat bagi semua tempat yang meridiannya 40°14' sebelah Timur dari Greenwich.

Jelaslah bahwa tempat-tempat yang terletak pada meridian (bumi) yang sama, mempunyai waktu setempat yang sama. Pada tempat-tempat itu orang melihat matahari meliwati meridian pada saat yang sama, jadi waktu dhuhur masuk pada waktu yang sama pula. Lihat (III,7).

9. Waktu dan Bujur

Bumi berputar dari Barat ke Timur; akibatnya ialah, bahwa bagi suatu tempat di sebelah Timur hari lebih siang dan bagi suatu tempat sebelah Barat, hari lebih pagi, misalnya : Jika hari di Jakarta pukul 09.00 pagi, maka pada saat itu hari di Ampenan lebih siang dari pukul 09.00 pagi; tetapi di Palembang, apalagi di Medan, hari lebih pagi.

Besarnya perbedaan waktu di antara dua kota dapat diketahui dari jarak di antara kedua meridian yang melalui kedua kota itu. Dan jarak itu dapat dihitung dari selisih bujur kedua kota bersangkutan.

Misalnya, Bujur Makassar ialah + 119°27′, bujur Makkah = + 39°50′; selisih bujur kedua tempat itu ialah : 119°27′ — 39°50′ = 79°37′. Perbedaan waktu setempat kedua kota itu = 70°37′ X 04^m = $05^j 18^m 28_d$, atau dibulatkan menjadi : $05^j 18^m$. Oleh karena Makkah letaknya sebelah barat dari Makasar, hari lebih pagi di Makkah. Bila orang di Makassar pada tanggal 3 Nopember pukul $11^j.44^m$ sudah boleh mulai sembahyang dhuhur, hari di Makkah baru pukul $11^j.44^m$ — $05^j.18^m$ = pukul $06^j.26^m$ (Pagi).

Kebalikan dari yang dimisalkan di atas ialah : selisih di antara waktu setempat menunjukkan perbedaan di antara bujur tempat-tempat bersangkutan.

Misalnya : Pada tanggal 12 Pebruari matahari di Abang berkulminasi pukul $12^j 14^m 20^d$ waktu setempat. Saat itu hari, di tempat M pukul $15^j 16^m 56^d$. Bujur Sabang ialah + 95°21′. Berapakah bujur M ?

Di M hari lebih siang daripada di Sabang; jadi M letaknya sebelah Timur Sabang. Selisih waktu besarnya 15°$16^m 56^d$ — $12^j 14^m 20^d$ = $03^j 02^m 36^d$. Selisih bujur besarnya 3.02.36 × 15 = 45°39′. Bujur M ialah 95°21′ + 45°39′ = 141°00′.

10. Waktu Daerah

Dibandingkan dengan zaman dahulu, hubungan dari tempat ke tempat dan dari daerah ke daerah di zaman sekarang berlaku dengan amat

mudah, sehingga lalu lintas di seluruh dunia menjadi ramai sekali. Jika dalam perjalanan jarak agak jauh orang berpegang kepada pemakaian waktu-waktu setempat, akan timbul kesulitan oleh karena jam yang dibawa dalam perjalanan, setiap kali harus disesuaikan dengan jam di tempat yang dilalui.

Untuk mengatasi kesulitan itu, telah diciptakan sistem *waktu daerah*, yaitu waktu yang sama buat suatu daerah yang agak beda. Daerah itu sendiri dinamakan *daerah kesatuan waktu*. Dalam sesuatu daerah-waktu, orang dalam menentukan waktu berpedoman kepada meridian yang melintasi kira-kira pada pertengahan daerah bersangkutan.

Indonesia terbagi kepada tiga daerah-waktu; meridian yang dipedomani dalam tiap-tiap daerah ialah meridian + 105°, + 120° dan + 135°. Waktu kesatuan dalam masing-masing daerah dinamakan berturut-turut : *waktu Indonesia Barat*, *waktu Indonesia Tengah* dan *waktu Indonesia Timur*.

Jarak di antara meridian-meridian yang menguasai setiap daerah itu besarnya 15°; itu berarti, bahwa perbedaan waktu di antara dua daerah yang berbatasan besarnya 60 menit atau tepat *satu jam*.

Sebagai batas di antara daerah-daerah waktu itu diambil pada umumnya meridian yang terdapat pada pertengahan meridian-meridian waktu daerah yang berbatasan. Tetapi meridian sebagai batas daerah waktu itu tidak dapat diikuti dengan teliti, karena kadang-kadang melintasi ditengah-tengah suatu daerah pemerintahan, atau membagi dua suatu pulau.

Hal yang demikian akan mengakibatkan, bahwa dalam suatu daerah kesatuan penghidupan sosial terdapat dua macam waktu. Guna mencegah hal yang semacam itu, batas-batas daerah-waktu itu disejalankan dengan batas-batas daerah pemerintahan (lihat gambar 22).

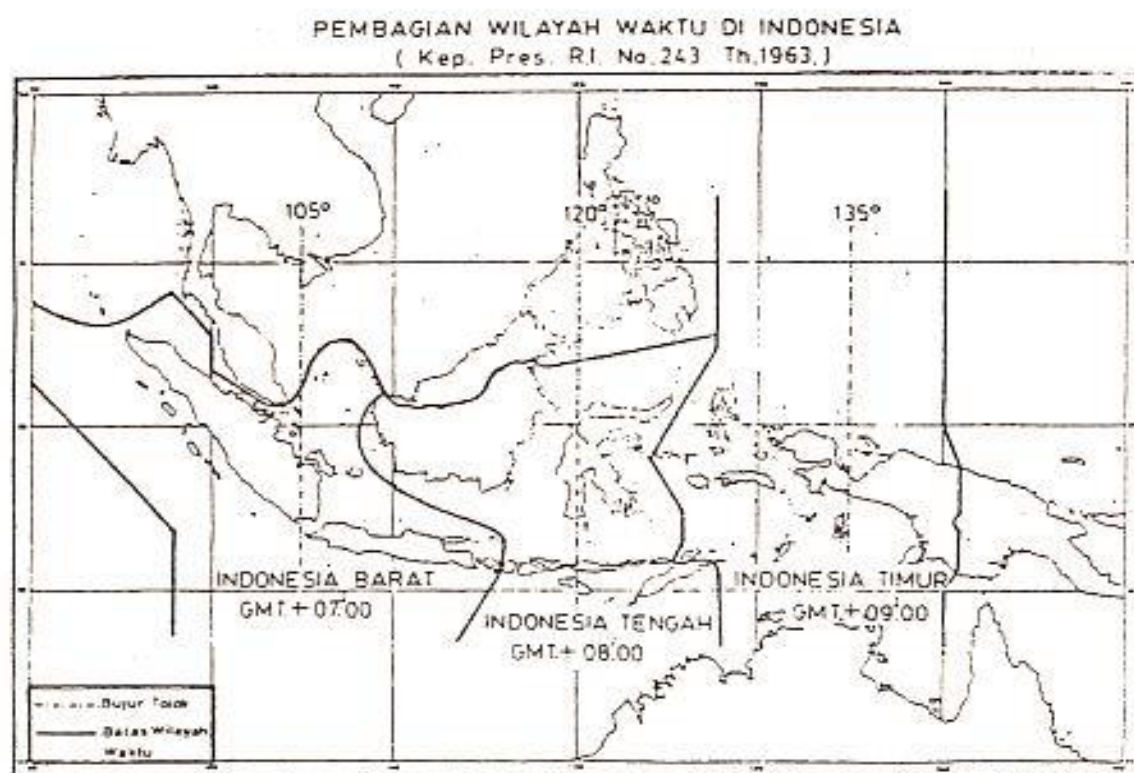
Waktu daerah adalah waktu resmi, oleh karena dipergunakan dalam laporan-laporan, berita-berita, pengumuman-pengumuman dan peraturan-peraturan lembaga-lembaga dan badan-badan pemerintahan.

Catatan : Hingga tanggal 31 Desember 1963, Indonesia terbagi kepada enam daerah-waktu, dengan nama-nama waktu daerah sebagai berikut :

Waktu Sumatera Utara = G.M.T. + $06^j 30^m$
Waktu Sumatera Selatan = G.M.T. + $07^j 00^m$
Waktu Jawa = G.M.T. + $07^j 30^m$
Waktu Sulawesi = G.M.T. + $08^j 00^m$
Waktu Maluku = G.M.T. + $08^j 30^m$
Waktu Irian Barat = G.M.T. + $09^j 00^m$

Waktu-waktu daerah yang berlaku sejak tanggal 1 Januari 1964 berbeda menurut *jumlah jam yang penuh* dengan waktu pertengahan di Greenwich, yaitu :

Waktu Indonesia bag. Barat = G.M.T. + 07^j
Waktu Indonesia bag. Tengah = G.M.T. + 08^j
Waktu Indonesia bag. Timur = G.M.T. + 09^j

PEMBAGIAN WILAYAH WAKTU DI INDONESIA
(Kep. Pres. RI. No.243 Th.1963.)

Gambar 22

11. Tanda Waktu

Melalui Radio Republik Indonesia disiarkan tanda waktu tiga kali setiap hari, yaitu buat pukul $07^j 00^m 00^d$, pukul $13^j 00^m 00^d$ dan pukul $19^j 00^m 00^d$ waktu Indonesia bagian Barat. Tanda itu berupa suara

pendek yang nyaring, kedengaran 6 kali berturut-turut dengan antara-antara yang sama panjang, jadi : tit - tit - tit - tit - tit - tit. Waktu yang dimaksud pada penyiaran itu jatuh tepat pada "tit" yang terakhir, jadi yang keenam.

Tanda waktu itu dipersiapkan oleh Direktorat Meteorologi dan Geofisik Departemen Perhubungan Udara dikantornya di Jalan Gereja Inggeris no. 3 Jakarta. Alat terpenting sebagai penjaga waktu itu ialah sebuah jam yang jalannya diatur amat rata dan teliti. Waktu yang ditunjukkan jam itu diuji dan dikontrol dengan jalan mengawasi waktu sebuah bintang tetap yang diketahui kedudukannya, melintasi meridian.

12. Memindahkan Waktu

Jika kita hendak memindahkan waktu setempat menjadi waktu daerah atau sebaliknya, maka cara yang kita tempuh tidak berbeda dengan yang telah diterangkan (III,9). Yang perlu diketahui ialah selisih-bujur di antara meridian waktu daerah dan meridian tempat bersangkutan.

rumus XVII

Waktu daerah = waktu setempat + ($\lambda_{dh} - \lambda_{tpt}$)

Dengan kata-kata : Waktu daerah diperoleh dengan menambahkan kepada waktu setempat jumlah waktu yang seimbang dengan bujur-daerah dikurangi bujur-tempat.

Contoh di Pekalongan (bujur : + 109° 41') hari pukul $08^j 24^m 38^d$ waktu setempat. Pukul berapakah menurut Waktu Indonesia bagian Barat (wib) ?

Jawabnya : Waktu Indonesia bagian Barat = $08^j 24^m 38^d$ + (105° — 109° 41') = $08^j 24^m 38^d$ — $18^m 44^d$ = $08^j.05^m 54^d$.

($\lambda_{daerah} - \lambda_{tempat}$) tandanya positip, apabila bujur tempat lebih kecil daripada bujur daerah. Misalnya : Pukul berapakah menurut waktu

Indonesia; bagian Tengah, pada waktu di Banjarmasin (bujur 114° 40′) hari pukul $16^j\ 26^m\ 14^d$.

Jawabnya : Waktu Indonesia bagian Tengah = $16^j\ 26^m\ 14^d$ + (120° — 114° 40′) = $16^j\ 26^m$ 14′ + 04° 20′ = $16^j\ 26^m\ 14^d + 17^m\ 20^m = 16^j\ 43^m\ 34^d$.

Boleh pula dikatakan : Untuk memperoleh waktu daerah, maka selisih meridian daerah dan bujur tempat harus *ditambahkan* kepada waktu setempat, bila tempat itu letaknya *sebelah Barat* meridian waktu daerah; akan tetapi selisih itu *harus dikurangkan* dari waktu setempat, bila tempat bersangkutan letaknya *sebelah Timur* meridian waktu daerah.

13. Waktu Bintang

Selain waktu matahari, ahli-ahli astronomy mempergunakan pula perhitungan waktu secara lain, yaitu yang dihubungkan dengan perjalanan bintang-bintang dan dinamakan *waktu bintang*. Waktu bintang ditentukan oleh gerak titik lintas pertama, yaitu titik potong equator langit dan ekliptika (III,3). Jika titik lintas pertama berkulminasi, maka waktu bintang ialah pukul $0^j\ 00^m\ 00^d$. Selanjutnya, *waktu bintang ialah sudut-waktu titik lintas pertama*. Jadi jika sudut waktu titik lintas pertama besarnya misalnya 3½ jam, maka menurut waktu bintang hari pukul $03^j\ 30^m$.

Pada tanggal 21 Maret matahari berkedudukan dititik lintas pertama. Jadi, matahari dan titik lintas pertama berkulminasi pada saat yang sama. Tapi, matahari mempunyai gerak tahunan yang berlaku menurut arah Barat — Timur. Berhubung dengan itu pada tanggal 22 Maret matahari berkedudukan kira-kira 01° sebelah Timur titik lintas pertama (III,2). Itu berarti bahwa titik lintas pertama *terdahulu* berkulminasi dari matahari, yaitu sebanyak kira-kira 4 menit sehari. Oleh karena itu, hari bintang lebih pendek dari hari surya.

1 hari bintang = $23^j\ 56^m\ 04^d$ waktu surya
1 hari surya = $24^j\ 03^m\ 57^d$ waktu bintang.

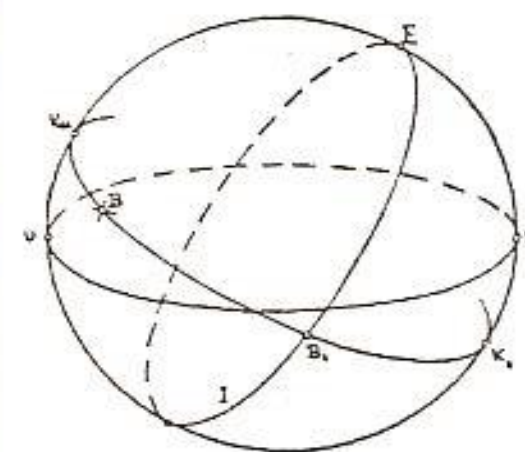
14. Kekasipan

Kekasipan sebuah benda langit ialah jarak melalui equator langit, dihitung arah ke-Timur dengan derajat atau dengan jam, dari titik lintas pertama kelingkaran waktu benda langit tersebut.

Kekasipan dinamakan juga right *ascension* (disingkat dengan RA), dan biasanya dinyatakan dengan huruf yunani α (alpha = baca : alfa); besarnya dihitung sampai 24 jam atau sampai 360°.

Umpamakan sebuah bintang B kekasipannya 3½ jam atau 52 ½°. Jika titik lintas pertama sedang berkulminasi, bintang B masih 52½° sebelah Timur meridian. Ia berkulminasi 3½ jam *sesudah* titik lintas pertama. (Itulah sebabnya, R.I. kita ishthilahkan dengan "kekasipan").

Pada saat bintang B berkulminasi, sudut waktu titik lintas pertama besarnya 3½ jam; jadi waktu bintang, menunjukkan pukul $03^j 30^m$. Berhubung dengan itu, maka boleh dikatakan : *Waktu bintang* ialah : Kekasipan bintang sedang berkulminasi.

Bila sudut waktu bintang B sudah menjadi 6½ jam, misalnya, waktu bintang sudah bertambah pula dengan 6½ jam, jadi menunjukkan pukul $3^j\ 30^m + 6^j\ 30^m = 10^j\ 00^m$. Dalam pada itu, kekasipan bintang B tentu tetap 3½ jam. Hubungan tersebut dirumuskan sebagai berikut : (buat waktu bintang dipakai huruf Yunani θ = theta, baca teta) :

Gambar 23

Pada gambar 23 E—I ialah sudut waktu titik lintas pertama, E—B_1 sudut waktu bintang B^1, dan I—B_1 kekasipan bintang B. Jelas sekali, bahwa E—I = EB_1 + I—B_1.

Rumus XVIII $\quad \boxed{\vartheta = t + a}$

Dengan kata-kata : Waktu bintang senantiasa sama dengan sudut waktu benda langit + dengan kekasipannya.

15. Almanak

Dasar-dasar untuk melakukan hisab diperoleh dari berbagai *aphemeris* atau *almanak* yang memuat data yang telah diolah terlebih dahulu mengenai deklinasi dan kekasipan matahari, bulan, planit dan bintang-bintang, begitu juga perata waktu dan data-data yang lain. Beberapa negara di dunia secara teratur menerbitkan setiap tahun almanak semacam itu. Salah sebuah penerbitan yang praktis dan berhubung dengan bahasa yang dipergunakannya tidak menimbulkan kesukaran yang terlalu besar bagi pemakai-pemakai di Indonesia, ialah *The Nautical Almanak*, disusun dengan kerja-sama Royal Greenwich Observatory (Inggris) dan United States Naval Observatory (Amerika).

Mulai tahun 1963 oleh Jawatan Hidrografi Angkatan Laut R.I. (alamat Jalan Gunung sahari Jakarta, sebagai penunjuk : Depot Peta-peta Laut Jalan Banda 6 Tanjung priuk telah diterbitkan "Almanak Nautika yang serupa dengan "The Nautical Almanac".

Sesuai dengan namanya, The Nautical Almanac sebenarnya sengaja disusun buat keperluan pelajaran, jadi dipergunakan di kapal-kapal; tetapi dipakai juga secara sangat umum oleh lembaga-lembaga, badan-badan, dan perorangan yang oleh tugas atau buat kegemaran untuk melakukan pekerjaan hisab yang sederhana. Bagi kerja yang bersifat lebih ilmiyah tersedia penerbitan yang amat lengkap dengan nama "The Astronomical Ephemeris".

Pada halaman berikut, dicantumkan sebuah petikan dari The Nautical Almanac" tahun 1970,[x] mengenai tanggal 26 Pebruari. Di jalur paling kiri terdapat jam-jam waktu setempat di Greenwich (G.M.T.). Petikan itu memuat sudut waktu di Greenwich (Greenwich Hour Angle) bagi titik Aries (titik lintas pertama), matahari dan bulan, demikian pula

*) Periksa pada Almanak Nautika tahun 1970.

deklinasi matahari dan bulan, serta horizontal parallax (H.P.) bulan; semuanya didaftarkan buat setiap jam penuh G.M.T. dari pukul 00 sampai pukul 23.

Huruf d menunjukkan perubahan deklinasi dari jam ke jam bagi bulan didaftar setiap jam, bagi matahari hanya satu kali. Mengenai tanda untuk d (+ atau —) harus diperhatikan perubahan dari jam yang satu kepada jam berikutnya.

Huruf v menunjukkan perubahan sudut waktu; bagi bulan v terdaftar buat setiap jam, tetapi jumlah-jumlah yang tercantum haruslah selalu ditambah dengan 14° 19'; misalnya buat pukul 18.00 : v bulan terdaftar sebesar 12,0 bilangan yang sebenarnya ialah : 14° 19'0 + 12°0 — 14°31'. Bagi matahari v boleh dikatakan tidak berobah, besarnya 15°; bagi titik Aries tidak berobah, besarnya tetap 15° 02,6.

Selanjutnya terdapat S.D. (semidiameter = ½ garis tengah) matahari dan bulan, terdaftar satu kali. Perata waktu dimuat dua kali, sekali buat pukul 00, sekali lagi buat pukul 12.00 G.M.T.

16. Cara Memakai

a. G.H.A. Aries adalah waktu bintang setempat bagi Greenwich (III,13). G.H.A. bulan (dan GHA matahari) adalah sudut waktu bulan (dan sudut waktu matahari) adalah sudut waktu bulan (dan sudut waktu matahari) bagi Greenwich sesuai dengan rumus (18), maka : kekasipan bulan (matahari) = GHA Aries — GHA bulan (matahari).
Misalnya : Pukul 18 GMT. GHA Aries = 66° 10' dan GHA matahari = 86°,45,7. Kekasipan matahari, besarnya = (360° + 66° 10') — 86° 45,7 = 426° 10' — 86° 45,7 = 339° 24,3.
Catatan : Oleh karena jumlah GHA Aries lebih kecil dari jumlah GHA matahari, maka terlebih dahulu ditambahkan 360°. Dengan jalan demikian dihindari timbulnya bilangan negatip, jadi kekasipan selalu dihitung menurut arah Barat—Timur.

b. Bila waktu yang dikehendaki tidak merupakan bilangan jam penuh GMT, harus dilakukan *penyisipan* atau *interpolasi*. Contoh : Akan ditentukan GHA bulan pada pukul 15.54 waktu setempat di Medan, yang bujurnya 98° 38 Timur Greenwich = $6^{j}\ 34^{m}\ 32^{d}$.

Pukul 15.54 waktu setempat di Medan dipindahkan kepada GMT menjadi $15^j\ 54^m - 6^j\ 34^m\ 32^d = 9^j\ 19^m\ 28^d$ GMT. Pukul 09 GMT GHA bulan menurut daftar berjumlah $80°\ 29',1$ v menurut daftar = 12.8. Perubahan dalam satu jam $19^m\ 28^d$ — 0,3244 jam. Perubahan dalam $19^m\ 28^d$ berjumlah 0,3244 X 14° 31',8 — 4° 42',8. GHA Bulan yang ditanyakan ialah 80° 29',1 + 04° 42,8 = 85° 29',9.
Catatan : Pada pemakaian Almanak yang sesungguhnya, interpolasi bagi v dan d tidak dilakukan dengan perkalian sebagai dalam contoh di atas, tetapi dengan tabel-tabel yang tersusun amat praktis, sehingga tidak memerlukan waktu yang lama untuk memperoleh bilangan-bilangan yang dicari.

c. Memindahkan GHA menjadi GHA (local hour angle sudut waktu setempat) dilakukan dengan menambahkan jumlah bujur tempat kepada GHA yang diperoleh (bagi bujur Barat : dikurangkan). Misalnya : GHA bulan sebesar 85° 11',9 dalam contoh di atas, jika dipindahkan kepada sudut waktu setempat bagi Medan, menjadi 85° 11,9 + 98° 38' = 183° 49',9.

Jadi pada tanggal 26 Pebruari 1970 pukul 15.54 waktu setempat, sudut waktu bulan di Medan besarnya = 183° 49',9.

BAB IV
SEGITIGA BOLA

1. Segitiga Bola

Bila tiga buah lingkaran besar pada permukaan sebuah bola saling berpotong-potongan, terjadilah sebuah segitiga bola. Ketiga titik potong merupakan titik-sudut A, B dan C; besar masing-masing sudut segitiga bola itupun dinamakan A, B dan C. Sisi-sisinya dinamakan berturut-turut dengan a, b dan c, yaitu yang berhadapan dengan sudut A, B dan C. Untuk mencegah keragu-raguan, sisi itu biasanya diambil, yang kurang dari seperdua lingkaran.

Ilmu ukur segitiga, bola mempersoalkan hubungan-hubungan di antara unsur-unsur dalam segitiga bola. Dan hukum yang terpenting ialah :

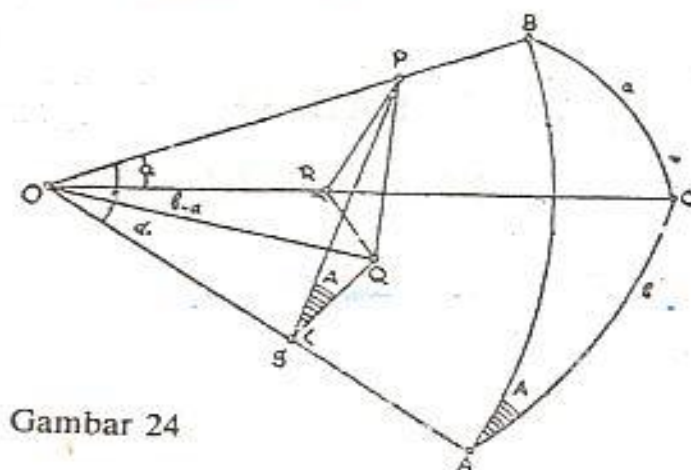
a. hukum cosinus :

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

b. hukum sinus :

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

2. Hukum Cosinus

Umpamakan O titik pusat sebuah bola, dan ABC segitiga bola pada permukaan bola itu (gambar 24). Dari titik sebarang P pada OB dibuat garis tegak lurus pada bidang OCA, yang jauh titik Q. Dari Q dibuat garis tegak lurus pada OC dan OA, yaitu berturut-turut garis QR dan QS. Sudut ACC yang besarnya = b, dibagi dua oleh garis OQ kepada dua bagian, masing-masing besarnya d dan (b-d).

Gambar 24

Dalam segitiga siku-siku OQS :

$$\cos d = \frac{OS}{OQ}, \text{ atau : } \boxed{OQ = \frac{OS}{\cos d}} \qquad \text{(i)}$$

Dalam segitiga siku-siku ORQ :

$$\cos (b - d) = \frac{OR}{OQ}, \quad \text{atau} \quad \boxed{OQ = \frac{OR}{\cos (b - d)}} \qquad \text{(ii)}$$

Dari (i) dan (ii) ternyata :

$$\frac{OS}{\cos d} = \frac{OR}{\cos (b - d)} \qquad \text{(iii)}$$

atau $\boxed{OS \cos (b\text{-}d) = OR \cos d.}$

Dalam segitiga OPS : $OS = OP \cos c$
Dalam segitiga OPR : $OR = OP \cos a$
Persamaan (iii) dapat ditulis sebagai berikut :

$OP \cos c \cos (b\text{-}d) = OP \cos a \cos d$
Atau : $\cos c \cos (b\text{-}d) = \cos a \cos d$ atau
$\cos c (\cos b \cos d + \sin b \sin d) = \cos a \cos d$ atau
$\cos a \cos d = \cos c \cos b \cos d + \cos c \sin b \sin d$ atau

$$\boxed{\cos a = \cos c \cos b + \cos c \sin b \text{ tg } d} \qquad \text{(iv)}$$

Dalam segitiga OQS : $\text{tg } d = \frac{QS}{OS} = \frac{PS \cos A}{OP \cos c}$

$$\frac{OP \sin c \cos A}{OP \cos c} =$$

$$\frac{\sin c \cos A}{\cos c} = \boxed{\text{tg } c \cos A} \qquad \text{(v)}$$

Jika harga (v) dimasukkan ke dalam persamaan (iv), diperoleh :

$$\cos a = \cos b \cos o + \sin b \cos c \text{ tg } c \cos A$$

atas :

rumus XIX $\boxed{\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A}$

3. Hukum Sinus

Hukum sinus diturunkan dari hukum cosinus.
$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}$$

Bila kedua bagian dipangkat-duakan diperoleh :

$$\cos^2 A = \frac{(\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

$$1 - \sin^2 A = \frac{(\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

$$\sin^2 A = 1 - \frac{(\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

$$= \frac{\sin^2 b \sin^2 c - (\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

$$= \frac{1 - \cos^2 b)(1 - \cos^2 c) - (\cos a - \cos b - \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

$$= \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

Dan :

$$\frac{\sin^2 A}{\text{Sin}^2 a} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 a \sin^2 b \sin^2 c}$$

Bagian kedua persamaan ini bentuknya bersifat symmetris, karena a, b dan c timbul dalam keadaan-keadaan serupa :

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{\sin^2 B}{\sin^2 b} = \frac{\sin^2 C}{\sin^2 c}$$

Oleh karena sudut-sudut dan sisi sebuah segitiga bola selalu kurang dari 180°, sin a sin b, sib c, sin A, sin B dan sin C semuanya bertanda *positip*, jadi boleh dituliskan :

rumus XX

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}$$

4. Tiga Sisi

Berturut-turut akan kita bicarakan beberapa persoalan ilmu ukur segitiga bola, yang akan dijumpai dalam hisab waktu. Pertama ialah : jika diketahui tiga sisi :
Yaitu sisi a, b dan c.

Dari hukum consinus diperoleh :

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c} = \frac{\cos a}{\sin b \sin c} - \text{cotg } b \text{ cotg } c$$

rumus XXI

Persamaan ini tidak dapat diselesaikan dengan logaritma. Oleh karena itu kita ubah bentuknya :

$$\sin^2 \tfrac{1}{2} A = \frac{1 - \cos A}{2}$$

$$= \tfrac{1}{2} \frac{\cos a - \cos b \cos c}{2 \sin b \sin c}$$

$$= \frac{\sin b \sin c + \cos b \cos c - \cos a}{2 \sin b \sin c}$$

$$= \frac{\cos (b - c) - \cos a}{2 \sin b \sin c}$$

$$= \frac{\sin \tfrac{1}{2} (a - b + c) \sin \tfrac{1}{2} (a + b - c)}{\sin b \sin c}$$

Jika dimasukkan dalam persamaan ini harga :

$$a + b + c = 2 s,$$

diperoleh :

rumus XXII

$$\sin^2 \tfrac{1}{2} = \frac{\sin (a - b) \sin (a - c)}{\sin b \sin c}$$

Bila sudah diketahui A, maka kedua sudut yang lain dapat dicari dengan rumus sinus misalnya :

$$\sin B = \frac{\sin b \sin A}{\sin a}$$

5. Dua Sisi dan Sudut Antaranya

Jika diketahui b, c dan A, maka dengan pertolongan rumus cosinus secara langsung diperoleh sisi ketiga :

$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A.$

Supaya persamaan ini dapat diselesaikan dengan logarithma, disisipkan sebuah sudut penolong p yang memenuhi syarat :

rumus XXIII $\quad \operatorname{tg} p = \operatorname{tg} b \cos A$

Kita peroleh :

$$\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \\ &= \cos b (\cos c + \operatorname{tg} b \cos A \sin c) \\ &= \cos b (\cos c + \operatorname{tg} p \sin c) \\ &= \frac{\cos b (\cos c \cos p + \sin c \sin p)}{\cos p} \end{aligned}$$

rumus XXIV $\quad \cos a = \dfrac{\cos b \cos (c - p)}{\cos p}$

Jika kita hendak langsung mencari B, dapat dipergunakan rumus lain. Rumus cosinus dituliskan sebagai berikut :

$$\sin b \sin c \cos A = \cos a - \cos b \cos c$$

Terhadap sin c dipakaikan hukum sinus, dan terhadap cos c hukum consinus; lalu diperoleh :

$$\begin{aligned} \sin b \sin a \sin C \operatorname{cotg} A &= \cos a - \cos b (\cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C \\ \sin a \sin b \operatorname{cotg} A \sin C &= \cos a - \cos a \cos^2 b - \sin a \sin b \cos b \cos c. \\ &= \cos a \sin^2 b - \sin a \sin b \cos b \cos C. \end{aligned}$$

Kedua bagian dikalikan dengan $\dfrac{\operatorname{tg} A}{\sin a \sin b}$; diperoleh :

$$\begin{aligned} \sin C &= \operatorname{cotg} a \sin b \operatorname{tg} A - \cos b \operatorname{tg} A \cos C \\ \sin C + \cos b \operatorname{tg} A \cos C &= \operatorname{cotg} a \sin b \operatorname{tg} A. \end{aligned}$$

Kita sisipkan sebuah sudut P yang memenuhi syarat :

rumus XXV $\quad \operatorname{cotg} P = \cos b \operatorname{tg} A$

Persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} \sin C + \operatorname{cotg} P \cos C &= \operatorname{cotg} a \operatorname{tg} b \operatorname{cotg} P \\ \sin C \sin P + \cos C \cos P &= \operatorname{cotg} a \operatorname{tg} b \cos P \end{aligned}$$

atau :

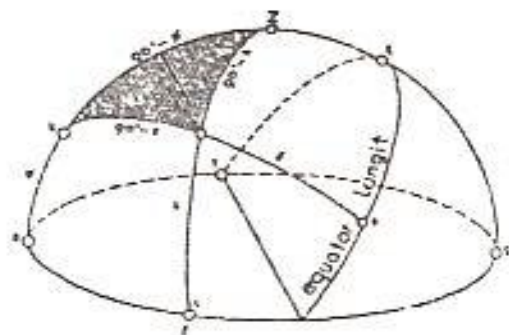
rumus XXVI $\quad \cos (C - P) = \operatorname{cotg} a \operatorname{tg} b \cos P$

6. Segitiga Bolalangit

Soal-soal ilmu falak biasanya diselesaikan dengan pertolongan SEGITIGA BOLALANGIT, yaitu segitiga bola yang bertitik sudut pada titik zenith, kutub Utara dan benda langit yang sedang ditinjau (ZKB dalam gambar 25). Sisi-sisinya ialah bagian meridian langit setempat di

antara titik zenith dan Kutub Utara (ZK); lingkaran vertikal di antara titik zenith dan benda langit (ZB); dan lingkaran waktu di antara kutub Utara dan benda langit (KB). Oleh karena tinggi kutub sama dengan lingkaran tempat, maka sisi ZK besarnya (90° — ∅); sisi ZB ialah jarak zenith benda langit bersangkutan, jadi sama dengan (90° — h). BD ialah deklinasi benda langit, jadi sisi KB besarnya sama dengan (90 — δ).

Sudut pada kutub Utara (ZKB) ialah sudut waktu setempat (I,7); besarnya sama dengan busur bersangkutan pada Equator langit (BD).

Sudut pada Zenith (KZB) dinamakan sudut azimuth z, yaitu sudut yang menentukan azimuth (I,9) Sudut Z sama besarnya dengan busur bersangkutan pada lingkaran horizon, yaitu Busur FU. Dalam keadaan yang digambarkan, azimuth benda langit B ialah busur UTSF, atau 360° — z; Jadi sudut Z = 360° — azimuth. Jika sekiranya benda langit berkedudukan di sekitar Timur meridian, sudut Z besarnya sama dengan azimuth. Sudut ZKB tidak mempunyai arti tertentu dalam ilmu falak.

Gambar 25

Dari keterangan-keterangan di atas ternyata, bahwa dalam segi tiga bola langit tergantung lima unsur penting, yaitu lintang tempat, deklinasi benda langit, tinggi benda langit, sudut waktu setempat dan azimuth. Bila tiga diantaranya diketahui, kedua unsur yang lain dapat dicari dengan mempergunakan rumus-rumus ilmu ukur segitiga bola.

7. Rumus Waktu

Buat menghisab waktu sembahyang yang lima, dipergunakan salah satu rumus (21) atau (22). Yang hendak dicari ialah sudut waktu t, karena

dengan mengetahui t, kita mengetahui sekaligus waktu hakiki dan waktu setempat (rumus 15).

Dasar perhitungan ialah deklinasi matahari, lintang tempat dan tinggi matahari, Deklinasi matahari diperoleh dari almanak atau daftar deklinasi, lintang tempat biasanya diketahui x) : TINGGI MATAHARI buat waktu yang lima sudah ditentukan (II,8).

Jika dalam rumus (22) dilakukan penggantian tanda A = t; a = 90° — h; b = 90° — δ; c = 90° — ∅, maka umum itu menjadi :

rumus XXVII

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin \delta \sin \varnothing}{\cos \delta \cos \varnothing} = \frac{\sin h}{\cos \delta \cos \varnothing} - \mathrm{tg}\, \delta\, \mathrm{tg}\, \varnothing = -\,\mathrm{tg}\, \delta\, \mathrm{tg}\, \varnothing + \sec \delta \sec \varnothing \sin h$$

Rumus-rumus di atas paling tepat untuk dijalankan dengan mesin hitung. Bila tersedia daftar sec (secant, yaitu kebalikan consinus), maka rumus terakhirlah yang paling cepat, oleh karena kita tidak usah melakukan pembagian; jadi seluruh perhitungan dapat diselesaikan dalam sekali jalan.

Catatan **:**Dalam rumus di atas, sin h tentu dapat diganti dengan cos z.

Bila rumus (22) diadakan penggantian sebagai yang telah dilakukan tadi, maka 2 s = a + b + c menjadi : (90° — h) + (90° — ∅) = 3 × 90° — h — δ — ∅ = 270° — (h + δ + ∅).

---

*) Lihat *"Atlas Der Gehele Aarde"* oleh : P.R. BOS — J.F. NIERMEYER, terbitan : J.B. WOLTER — GRONINGEN, Jakarta 1951.

Rumus seluruhnya menjadi :

$$\sin^2 12\,t = \frac{\cos(a - \delta)\cos(a + \phi)}{\cos\delta\cos\phi}$$

Biasanya dituliskan dengan bentuk berikut :

Rumus XVIII

$$\sin \tfrac{1}{2}\,t = \sqrt{\frac{\cos(s + \phi)\cos(s + \delta)}{\cos\phi\cos\delta}}$$

$$2\,s = 270^\circ - (\phi + \delta + h)$$

Rumus yang sangat nasyhur ini dapat seluruhnya dijalankan dengan logaritma; yang 4 desimal sudah memada tetapi bila dipergunakan yang lima desimal, tentu hasilnya hisab menjadi lebih teliti.

8. Tinggi Matahari

Tinggi sebuah benda langit dapat diukur dengan alat-alat yang sengaja dibuat untuk melakukan pekerjaan itu, seperti sextant, theodolit dan lain-lain. Pada umumnya mengukur tinggi bintang tidak sesulit mengukur tinggi matahari, oleh karena bintang tampak dalam teropong sebagai titik amat halus, sehingga memungkinkan menentukan kedudukannya dengan cermat; tetapi matahari dan bulan kelihatan berupa sebuah piringan, yang untuk menentukan kedudukan titik pusatnya menghendaki perhitungan yang agak rumit juga.

Bila kita menghendaki bilangan yang cermat, tinggi matahari dapat ditentukan dengan cara yang amat sederhana, yaitu dengan memacangkan sebuah tongkat secara tegak lurus pada bidang yang datar, dan mengukur tinggi tongkat serta panjang bayang-bayangnya, jika tongkat itu disinari matahari. Panjang bayang-bayang dibagi dengan tinggi tongkat menghasilkan cotangens tinggi matahari (II,2).

Yang agak sulit ialah menentukan secara tepat, tempat jatuhnya bayang-bayang ujung tongkat itu, oleh karena ujung bayang-bayang tidak tajam kelihatannya. Tetapi bila mata cukup awas dan tangan suah dilatih dalam ukur-mengukur, penentuan tinggi matahari dengan cara yang sederhana itu dapat dilakukan dengan hasil yang cukup memuaskan.

Makin panjang tongkat tersebut, makin lebih teliti hasilbagi yang kita peroleh, dan makin telitio pula dapat ditentukan tinggi matahari. Tentu harus dijaga, supaya tongkat itu tegaknya vertikal, yang dapat dilakukan dengan unting-unting. Begitu pula dataran tempat jatuhnya bayang-bayang, harus benar-benar horizontal, yang dapat diuji dengan timbangan air tukang batu.

Umpamakan panjang bayang-bayang 78½ cm dan tinggi tongkat 125 cm. cotg tinggi matahari 3 78 : 125 = 0,6240. Tinggi matahari = 58° 02,3. Hasil ini masih harus dikoreksi buat refraksi, yaitu menurut daftar sebesar 1,6. Tinggi matahari sesungguhnya, bila dibulatkan menjadi menit sudut yang penuh, berjumlah 58°01'.

9. Bujur

Menghisab waktu shalat adalah bentuk khusus dari persoalan umum, yaitu menentukan waktu setempat, jika tinggi matahari diketahui. Perbedaannya ialah, bahwa buat waktu shalat tinggi matahari sudah ditentukan menurut syarat-syaratnya, sedangkan bagi penentuan waktu secara umum, tinggi matahari diperdapat dengan observasi sebagai diterangkan dalam fasal yang lalu.

Bila dengan pertolongan rumus (27) atau (28) dan rumus (15), waktu setempat sudah diketahui dari tinggi matahari yang diperoleh dengan observasi itu, maka pengetahuan yang sedemikian memberi kemungkinan untuk menentukan bujur tempat. Dengan jam atau arloji yang telah disamakan dengan waktu setempat itu, kita tunggu sampai saat salah sebuah pemancar yang kita kenal menyiarkan tanda waktu (III,11). Dengan cara demikian, dapatlah kita ketahui perbedaan jam di antara waktu radio dan waktu setempat. Dan perbedaan itu menunjukkan selisih bujur di antara meridian waktu yang disiarkan dan meridian setempat kita (III,9).

Umpamakan, bahwa pada saat kita mendengar tanda waktu radio pukul 07.00 wib., jam setempat kita menunjukkan pukul $07^j\ 21^m\ 24^d$.

Dari penunjukan jam setempat yang *lebih siang* dari waktu Indonesia bagian Barat (wib), dapat diketahui bahwa tempat itu letaknya sebelah Timur lintang 105° (bujur pedoman wib). Selisih waktu ialah : $21^m\ 24^d$.

20^m	=	5°
$1^m ;4^d$	=	21′
$21^m ;4^d$	=	5° 21′

Bujur wib	=	105°
Selisih bujur	=	5° 21′
Bujur tempat	=	110°.21′ (sebelah Timur Greenwich).

Cara ini umum dipergunakan di mana-mana, bila orang hendak menentukan kedudukan atau tempat di atas bumi, sebagai diperlakukan oleh kapal-kapal yang berlayar disamudera yang luas, atau oleh sebuah ekspedisi yang menjelajahi suatu daerah yang belum dikenal.

Di zaman dahulu, sebelum ada siaran radio, pelaut-pelaut terpaksa membawa dari rumah sebuah jam yang tepat jalannya; selama dalam perjalanan, waktu setempat yang diperoleh dari observasi matahari atau bintang yang dikenal, senantiasa diperbandingkan dengan penunjukan jam yang dibawa itu. Dengan cara demikian dapatlah diketahui perbedaan waktu itu diduduki.

Jelaslah betapa pentingnya arti siaran tanda waktu melalui radio itu. Manfaatnya tidak terutama ditujukan kepada misalnya pegawai yang tidak ingin terlambat masuk kantor atau musafir yang takut akan ditinggalkan kereta api atau kapal terbang, tetapi lebih-lebih kepada beratus dan beribu kapal dilautan terbuka, yang perlu mengetahui tempat kedudukan mereka, untuk menjamin pelayaran yang selamat bagi penumpang-penumpangnya.

Syarat terpenting ialah adanya jam atau arloji yang baik jalannya (chronometer) untuk menentukan waktu setempat dengan teliti. Jam atau

chronometer itu tidak usah setiap kali diputar maju atau mundur jarumnya, tetapi cukuplah jika dicatat berapa terdahulu atau terkemudian waktu yang ditunjukkannya daripada waktu yang diperoleh dengan observasi.

Juga bagi penentuan waktu shalat dan waktu berbuka yang cermat, harus diketahui bujur tempat dengan cukup teliti.

10. L i n t a n g

Bagi ahli-ahli tersedia alat-alat dan cara-cara tertentu untuk mengetahui lintang tempat. Jalan yang sederhana ialah dengan mengukur jarak zenith matahari sewaktu berkulminasi (z_m). Dengan mengetahui z_m dan deklinasi matahari, rumus (4) dapat membawa kepada mengetahui lintang tempat.

Sebaliknya pengukuran itu dilakukan pada waktu matahari pada saat berkulminasi agak jauh dari zenith, jadi bagi tempat sebelah Selatan khatulistiwa', bila deklinasi matahari jauh ke Utara, dan bagi tempat sebelah Utara khatulistiwa', bila matahari berdeklinasi jauh ke Selatan. Hal itu untuk menjaga, agar bayang-bayang tongkat cukup panjangnya, yaitu guna menghindarkan kesalahan yang terlalu besar oleh karena kurang teliti mengukur panjang bayang-bayang.

Sa'at matahari melintasi meridian diketahui, oleh karena bayang-bayang pada waktu itu paling pendek; atau, bila kita sudah mengetahui arah Utara-Selatan dengan teliti, oleh karena bayang-bayang waktu itu tepat berarah Utara-Selatan.

Jika kita mempunyai jam yang menunjukkan waktu yang tepat, maka kulminasi matahari dapat kita ketahui, yaitu pada saat waktu setempat menunjukkan pukul 12 — e.

Sebaliknya : saat kulminasi matahari itu dapat pula kita pergunakan untuk membetulkan jam : bila bayang-bayang tepat berarah Utara-Selatan, atau bila bayang-bayang paling pendek, maka waktu setempat harus menunjukkan pukul 12 — e.

Contoh : Pada tanggal 26 Pebruari 1970, sedang matahari berkulminasi, yaitu pukul 12.13 waktu setempat, di suatu tempat di Yogyakarta diukur panjang tongkat 100 cm, sedang panjang bayang-bayang = 29,90 cm. Akan ditentukan berapa lintang tempat itu.

Jalan perhitungan : pukul 12.13 waktu stp = pukul 4ʲ51ᵈ 36′

Dari petikan Almanak

		Dekl.	d
26 Pebruari pk 04	—	8° 55′5	0,9
Koreksi 51ᵐ	+	0′8	
Pk 04.51.36	—	8° 52′7	

$$tg\ z'_m = \frac{29,94}{100} = \frac{0.2994}{1} = 0,29$$

z'_m = 16°.40′,4
koreksi ref. = + 0′,3

z_m = 16°.40′,7

Ada dua kemungkinan : (ø — δ) positip atau negatip;

(i) ø — δ; — 16°.40,7
δ; — 8°.52,7 —
ø = 7°.48′

(ii) ø — δ = + 16°.40,7
δ = — 8°.52,7 —
ø = + 25°.33′4

Oleh karena letak tempat Yogyakarta lintangnya Selatan Equator, maka lintang tempat yang dicari itu = — 7°.48′.

Cara lain untuk mengetahui lintang ialah dengan menentukan tinggi matahari tidak pada sa'at kulminasi (boleh juga dengan tinggi bintang

atau planit pada malam hari), dan selanjutnya mempergunakan rumus (25) dan (24); waktu dan deklinasi harus diketahui.

Umpamakan, pada tanggal 26 Pebruari 1970, pukul 09.50 wib., di suatu tempat di pulau Jawa dengan bujur 110°12′, diukur : panjang tongkat 125 cm, panjang bayang-bayang 67,5 cm.

Jalan perhitungan :
pukul 09,58 wib = pukul 02,50 GMT.

Dari Almanak :		GHA m.h.	Dekl.	d
26 Februari pk. 02		206°42′,0	—9°.08′,0	0,9
Koreksi buat 58ᵐ		14°30′,0	0 ,9	
Pukul 02.58 GMT		220 12′,0	—9°,07′,1	
bujur tempat		110 12		
	—	360		
Sudut waktu matahari	—	28 36	(matahari sebelah timur mer.)	

Catatan : Bila tidak tersedia almanak, t mh (sudut waktu matahari) dapat diperoleh dengan rumus (15).

Selanjutnya dapat dicari : $cotg\ h' = \frac{67,5}{125} = 0,5400$

h′ = 61°.37′,8
ref = — 0,5

h = 61°.37′,3

Dalam segitiga bola ABC sekarang diketahui :

a = 90° — 61°.37′ = 28°.03′
b = 90° — (—90°.07′) = 99°.07′
A = 28°.36′.

Rumus (23) : tg p = tg b cos A

$$\begin{aligned} \text{tg } p &= \text{tg } 99°.07' \times \cos 28°.36' \\ &= -6{,}2316 \times 0{,}8780 \\ &= -5{,}4713 \\ p &= 100°.21' \end{aligned}$$

Dengan rumus (24)

$$\cos a = \frac{\cos b \cos(c - p)}{\cos p}$$

kita ubah menjadi :

$$\cos(c - p) = \frac{\cos a \cos p}{\cos b}$$

Akhirnya diperoleh :

$$\cos(c - p) = \cos 28°.23' \times \cos 100°.21' \times \sec 99°.07'.$$

$$\begin{aligned} &= 0{,}99782 \\ c - p &= \pm 3° 47' \end{aligned}$$

Ada dua kemungkinan :

c — p = + 3°47′	c — p = — 3°47′
p = 100°21′ +	p = 100°21′ +
c = 104 08	c = 96 34

Oleh karena tempat bersangkutan letaknya di pulau Jawa, yang berlaku ialah (11); jadi lintang <u>—06°34′</u>.

11. Tinggi Bulan

Menentukan tinggi bulan pada waktu terbenamnya matahari merupakan karya yang berakibat luas, berkenaan dengan penentuan 1

Ramadlan dan 1 Syawal, dan berhubung dengan itu harus dilakukan dengan ketelitian dan rasa tanggung jawab yang besar dari pihak ahli hisab.

Jalan yang ditempuh berturut-turut ialah :

(i) menentukan t_{mh} dengan pertolongan rumus (28) atau (2)
(ii) dengan t_{mh} mengetahui t_{bl}
(iii) dengan pertolongan rumus (23) dan (24) dapat mengetahui z_{bl}
(iv) menentukan ufuk mar-i terhadap zenith
(v) akhirnya, menentukan kedudukan bulan terhadap ufuq mar-i.

Menentukan t_{mh} kepada t_{bl} (ii) dapat dilakukan dengan perantaraan rumus (18), karena :

waktu bintang = t_{mh} + $R.A._{mh}$ = t_{bl} + RA_{bl}

atau : $t_{bl} = t_{mh} + RA_{mh} - RA_{bl}$

Dengan kata-kata : sudut waktu bulan senantiasa sama besarnya dengan sudut waktu matahari *ditambah* kekasipan matahari *dikurangi* bulan.

Jika dipergunakan The Nautical Almanac, t_{bl} dapat diketahui lebih cepat dan dengan cara yang lebih mudah.

Contoh Soal :

Umpamakan tempat peninjauan yang kita pilih terletak di kota Yogyakarta, dengan lintang — 7°48′ (Selatan) dan Bujur 110°.21′ atau 7^j 21^m 24^d sebelah Timur Greenwich Tinggi mata dari daerah sekitar ± 90 M, dengan bebas ke ufuq di sebelah Barat.
Tanggal 30 Oktober 1970.

Jalan Perhitungan :

I. Mula-mula *ditaksir* waktu matahari terbenam, misalnya dengan pertolongan Almanak Jamiliyyah; diperoleh 17.55. waktu setempat (Local Mean Time atau LMT); ini dijadikan 10^j 33^m 36^d GMT.

Berdasarkan GMT yang diperoleh itu ditentukan dengan pertolongan Nautical Almanac perata waktu dan deklinasi matahari.

Selanjutnya dihisab dengan menggunakan rumus (28).

ØYogyakarta	=	— 7°	48′	
Ghurub LMT	=	17^j	55^m	00^d
λYogyakarta	=	7	21	24
Churub GMT	=	10	44	36
e	=	+	16^m	16^d
δ	=		—13°	43′
h	=		— 1	07
Ø	=		— 7	48
Ø + δ + h	=		— 22	38
2 s	=		292	38
s	=		146	19
s + Ø	=		138	31
s + δ	=		132	36

log cos Ø = 9.9960
log cos δ = 9,9874

9,9834

log cos (s + Ø) = 9.8746 (—)
log cos (s + δ) = 9,8305 (—)

9,7051 (+)
9,9834

2 log sin ½ t = 9,7217
log sin ½ = 9,86085
½ t = 46° 32′5
½ t = 93° 05′

Tengah hari = 11^{j}43^m 44^d
t = 6^{j}12^m 20^d

Ghuruh LMT = 17^{j}56^m 04^d
λYogyakarta = 7^{j}21^m 24^d

Ghurub GMT = 10^{j}34^m 40^d

II. Dengan pertolongan Almanak, kita-tentukan sekarang GHA dan deklinasi bulan :

	BHA$_{bulan}$	v	Lekl.	d
pukul 10 BMT	333° 58,7	12,3	—18° 41,1	11,4
tambahan 34^m 40^d	8 16,3			
koreksi v dan d	7,1		— 6,6	
10^{j}34^m 40^d GMT	342 22,1			
bujur tempat	110 21			
	—360			
Sudut waktu bulan	92 43,1			

III. Dari segitiga bola langit buat titik pusat bulan sekarang dapat diketahui :

b = 90° — (— 18°48′) = 108°48′
c = 90° — (— 7°48′) = 97°48′
A = 92°43′

Dengan rumus (23) :
tg p = tg b cos A, kita peroleh :

log tg 108°48′ = 10,4680 (—)
log cos 92 43 = 8,6758 (—)

log tg p = 0,1438
p = 7°56′
c — p = 89° 52′

Dengan rumus (24)

$$\cos a = \frac{\cos b \cos (c - p)}{\cos p}$$

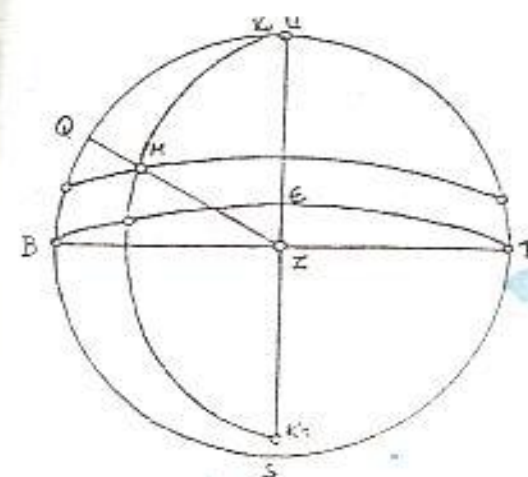
log cos 108°48′	=	9,5082 (—)
log cos 89°52′	=	7,3668 (+)
		6,8750
log cos 7°56′	=	9,9958 (+)
log cos a	=	6,8792 (—)
a	=	90° + 03′
a	=	90° 03′
parallax bulan	=	+ 55′08″
refraksi	=	— 34,0
z pusat bulan	=	90°24′08″
s.d. bulan	=	— 15
tepi piringan bl seb. atas (z)	=	90°09′8″
zufuk mar-i	=	90°17′
Tinggi tepi piringan seb atas	=	+ 8′

Catatan : Jika dengan rumus (24) kita peroleh kiranya jumlah a yang kurang dari 90°, tentu buat parallax kita lakukan rumus (11).

Sebagai hasil perhitungan kita peroleh bahwa pada saat matahari terbenam (jam : 17ʲ56ᵐ 04ᵈ waktu setempat atau 17ʲ34ᵐ 40ᵈ wib), tanggal 30 Oktober 1970, tepi piringan bulan sebelah atas positip 8′di atas ufuk mar-i.

12. Arah Qiblat

Persoalan qiblat adalah persoalan azimuth. Pada bidang horizon dapat kita gambarkan sebuah garis menurut qiblat setempat, yang kita namakan garis qiblat. Garis qiblat dan titik zenith membuat sebuah bidang yang memotong bola langit menurut lingkaran vertikal qiblat. (= lingkaran vertikal Mekkah).

Gambar 25. merupakan pandangan pada bidang horizon yang berbentuk lingkaran dilihat dari atas titik zenith (bandingkan dengan gambar 24). Titik zenith Z jatuh pada titik pusat lingkaran. Garis UZB ialah garis Utara Selatan, dan sekaligus menjadi lingkaran meridian setempat, yang pada gambar merupakan garis lurus. Ku ialah Kutub Utara sedang Ks adalah Kutub Selatan; jarak Ku - U atau Ks — S menggambarkan tinggi Kutub, yang jaraknya sama dengan jarak Z — E, yaitu titik potong equator langit dan meridian. TEB menggambarkan equator langit.

Gambar 26

Garis Z — Q ialah garis qiblat pada bidang horizon, dan sekaligus menjadi lingkaran vertikal qiblat.

Dalam perjalanan hariannya, matahari pada suatu waktu akan memotong lingkaran vertikal ZQ, misalnya pada titik M. Pada waktu itu azimuth matahari sama dengan azimuth qiblat setempat. Sudut azimuth KuZM besarnya sama dengan 360 — azimuth qiblat.

Dalam keadaan matahari berkedudukan di lingkaran vertikal qiblat, bayang-bayang sebuah tiang yang terpancang tegak lurus di atas tanah yang rata, akan berarah tepat arah qiblat. Ini memudahkan bagi pemasangan pancang-pancang, jika akan mendirikan mesjid atau akan melakukan sembahyang di lapangan terbuka. Pada masjid yang sudah ada dan betul qiblatnya, dinding kiri dan dinding kanan sebelah luar pada saat itu tidak boleh langsung kena sinar matahari; dan tepi dinding yang sebelah bawah membentuk satu garis lurus dengan bayang-bayang dinding itu.

Pada gambar tersebut, Z, Ku dan M merupakan segitiga bola langit yang kita kenal.

Umpamakan kita ingin mengetahui, pukul berapakah di Yogyakarta ($\varnothing$ = — 07° 48′) pada tanggal 17 Agustus tahun 1970; matahari tepat membuat bayangan berarah menurut qiblat.

Jalan perhitungan :
Arah Qiblat kota Yogyakarta — 24°44′ *) sebelah Utara dari Barat. Jadi azimuth qiblat = 270° + 24°44′ = 294°44′.

Oleh karena seluruh tempuhan harian matahari letaknya sebelah Utara lingkaran vertikal Utama, matahari akan melintasi lingkaran vertikal Qiblat pada bagian kedua busur siang, jadi sesudah pukul 12.

Sudut Azimuth qiblat besarnya = 360° — 294°44′ = 65° 16′
Dari Almanak Nautika dapat dikutip :

δ = 13°3′ sedang e = — 4^m 07^d
Dari segitiga bola langit sekarang kita ketahui :

a = 90° — 13°.31′ = 76°29′
b = 90° + 7 .48 = 97 48′
A = 65° 16′

Dengan rumus (25) diperoleh :
cotg p = cos b tg A

log cos 97°48′ = 9,1326 (—)
log tg 65° 16′ = 10,3366 (+)

log cotg P = 9,4692 (—)
P = 90° + 16°25′ = 106°25′

Dengan rumus (26) diperoleh :

-------- log cos (C — P) = cotg a tg b cos P

*) Pelajari Arah Qiblat, Saadoeddin Djambek, Tinta mas, Jakarta.

log cotg 76°29′ = 9,3809 (+)
log tg 97 48 = 10,8633 (—)
log cos 106 25 = 9,4512 (—)

log cos (C — P) = 9,6954
(C — P) = 60°.16′

Ada dua kemungkinan (C — P) positip atau negatip;

C — P = + 60°16′
P = 106 25 +

C = 166°41′ =
(di bawah horizon)

C — P = — 60°16′
P = 106 25 +

46°09′

awal dhuhur = 12^j + 4^m 07^d = 12^j04^m 07^d
= 46°09′ = 3^j04^m 36^d

Waktu setempat = 15^j08^m 43^d
λ Yogyakarta — X wib = 21^m 24^d

Waktu Indonesia bag. Barat = 14^j47^m 19^d

Catatan :

i. Jika dipilih hari lain, sehingga matahari melintasi lingkaran vertikal qiblat di sebelah Selatan belahan langit, sudut azimuth qiblat menjadi 294°04′ — 180° = 114°04.

ii. Tentu kita dapat pula memilih arah shaf sebagai dasar perhitungan; azimuthnya berbeda 90° dengan azimuth qiblat.

iii. Ada kalanya tidak terdapat pada hari-hari tertentu titik potong lingkaran vertikal qiblat dengan busur siang matahari. Hal itu terjadi, bila sudut azimuth qiblat lebih kecil daripada azimuth terbit atau terbenam matahari. Dalam hal ini dapat dipergunakan rumus (3) pada I,9.
Setelah diketahui waktu yang dicari, baik diperiksa kembali, apakah jumlah deklinasi yang telah dipergunakan telah cocok buat waktu yang diperoleh dengan hisab itu. Bila jumlah deklinasi itu terlalu

jauh berbeda, harus diulang menghisab seluruhnya kembali dengan mempergunakan jumlah deklinasi yang baru didapat. Dengan jalan demikian akan diperoleh jumlah waktu yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya.

13. Ihtijaathi

Dalam bagian yang terdahulu (II,1) pernah kita katakan bahwa batas awal waktu dhuhur secara ilmu pasti dapat dirumuskan 12 — e. Pada tanggal 1 Oktober 1970 perata waktu pada Jam 12.00 stp berjumlah + 10^m 08'10. Jadi matahari berkulminasi pukul $11^j 49^m 52^d$. Bila kita melakukan pembulatan secara biasa, yaitu dengan pedoman : semua yang kurang dari setengah diabaikan, dan yang lebih dari setengah dibulatkan menjadi satu, tentu dhuhur kita daftarkan pada hari itu pukul $11^j 50^m$. Hal itu tidak mengapa, karena pada pukul itu matahari sudah liwat dari titik kulminasinya. Akan tetapi apabila dari perhitungan itu kita dapati misalnya $12^j 13^m 11^d$ yang kalau kita bulatkan menjadi pukul 12.13. Pada saat pukul 12.13 ini titik pusat matahari sebenarnya *belum* mencapai meridian, jadi waktu dhuhur belum masuk. Berhubung dengan itu, tak boleh tidak harus didaftarkan 12.14. Waktu sebanyak 49^d yang seolah-olah kita tambahkan kepada jumlah yang kita peroleh dengan hisab dinamakan inthijaathi.

Contoh lain : sebagai hasil hisab kita peroleh buat awal maghrib pukul $18^j 37^m 55^d$ waktu setempat. Menurut pembulatan secara biasa, jumlah itu dijadikan 18.38, jadi dengan inthijaathi sebanyak 5 detik.

Sekarang timbul pertanyaan : Cukupkah ihtijaathi sebanyak 5 detik itu ?

Jika kita melakukan hisab misalnya buat lintang 8° maka pada lintang itu menurut rumus (16) : 1° paralel = 111 Km × cos 8° = 0,99 × 111 Km = 109,9 Km.

Jadi :

4 menit beda waktu sama dengan beda jarak 109,9 Km.
5 detik beda waktu sama dengan beda jarak 2,389 Km.

Hal itu berarti, bahwa daftar kita hanya berlaku sampai suatu tempat yang letaknya paling jauh 2,389 Km tepat sebelah Barat dari tempat hisab kita. Buat tempat-tempat yang lebih ke Barat lagi hari bulan pukul $18^j 37^m 37^d$ waktu setempat; jadi waktu maghrib belum masuk. Bila kita menghendaki, supaya jadwal kita dapat pula dipakai buat tempat-tempat yang letaknya lebih jauh dari 2.389 Km sebelah barat, maka waktu maghrib mesti didaftarkan : 18.39 yaitu dengan ihthijaathi 1^m 05^d.

Ihtijaathi memang senantiasa perlu, juga bila ditinjau dari segi ilmu hitung umum. Ketelitian dasar-dasar perhitungan kita dan cara-cara kita melakukan perhitungan sifatnya terbatas. Jika dalam Almanak misalnya deklinasi sebuah benda langit terdaftar 3° 14,6, maka itu berarti, bahwa angka 6 di belakang tanda desimal itu mungkin terjadi dari ,64 dan mungkin ,55; harga paling tinggi dan paling rendah kedua kemungkinan itu berbeda 0,09, atau hampir satu ke satuan terakhir dalam bilangan yang terdaftar.

Dalam setiap hisab harus diperhatikan, sampai angka manakah suatu bilangan masih mempunyai sifat kepastian, dan mulai angka manakah sifatnya tidak sepenuhnya pasti lagi. Umpamakan dalam mengukur tongkat dan bayang-bayang dalam fasal-fasal yang lalu (IV,8) diperoleh bilangan 140 dan 80 misalnya, jika kita lakukan pembagian 80; 140, kita akan memperoleh bilangan yang tak habis-habisnya. Janganlah kita lalu menganggap bahwa semua angka yang membentuk bilangan itu mempunyai mutu kepastian yang sama. Anggapan yang demikianlah yang secara berkelakar dinamakan orang ''Ilmu pasti yang tidak pasti''. Yang penting ialah mengetahui, berapakah besarnya unsur ketidak pastian itu.

Juga dalam daftar logarithma ada unsur ketidak pastian yang terdapat pada angka terakhir bilangan logarithma. Jika kita dalam menghisab mempergunakan logarithma beberapa kali mungkin angka-angka yang dibulatkan ke atas tergabung dengan angka-angka yang dibulatkan ke bawah, sehingga menghasilkan jumlah akhir yang tidak berbeda banyak dari bilangan yang sebenarnya. Tetapi bila kita secara kebetulan berturut-turut mempergunakan bilangan yang senantiasa dibulatkan ke atas saja atau dibulatkan ke bawah saja, tentu hasil terakhir akan lebih jauh bedanya dari bilangan yang sebenarnya. Kita dapat mengetahui berapakah kira-kira besarnya ''sesatan'' itu, maka pada pendapatan terakhir dapat kita lakukan ichtijaathi, untuk menetralkan kesalahan itu.

Dalam "The Astronomical Ephemeris" jumlah-jumlah derajat didaftarkan hingga persepuluhan sekon busur, jadi misalnya 13° 12' 16",42; itu berarti angka satuan sekond adalah pasti, angka persepuluhan sekond mungkin berbeda 0,05 dari bilangan yang sebenarnya. Waktu-waktu didaftarkan hingga perseratusan detik, jadi misalnya 13ʲ18ᵐ 04ᵈ ,43; jumlah yang terdaftar dapat berbeda 0ᵈ ,005 dari bilangan yang semestinya. Kalau kita bertujuan membuat jadwal waktu dengan jumlah menit yang penuh maka ketelitian dalam bilangan-bilangan yang kita pergunakan tidak usah sejauh itu, tetapi dalam pendapat terakhir kita, angka puluhan detik harus pasti; yang boleh bersifat agak kurang pasti ialah satuan detik waktu.

Jika pendapatan terakhir kita teliti hingga satu menit busur dengan pengertian, bahwa pendapatan yang kita peroleh mungkin berbeda sampai 0,5 menit busur dengan pendapatan yang sebenarnya, maka dapat berbeda hingga 2 detik waktu dengan pendapatan yang sebenarnya.

Dalam mempergunakan rumus (28), pendapatan terakhir, yaitu ½ t, harus dikalikan 2 untuk memperoleh t. Berhubung dengan itu sesatan yang terdapat dalam ½ t menjadi 2 kali lipat, dan pendapatan kita dapat berbeda 4 detik waktu dengan jumlah yang sebenarnya.

Itu, bila kita menggunakan logarithma 5 desimal; dengan logarithma 5 desimal, pendapatan kita dapat teliti hingga kesatuan sekon busur, apa lagi jika dalam bilangan deklinasi matahari dan lintang tempat kita dapat mengusahakan ketelitian hingga sekon busur pula. Bila teliti hingga sekon busur maka kesalahan yang dikuatirkan dalam mendapatkan akhir boleh dianggap bersifat pasti. Juga tidak usah diperhitungkan intijaathi kesalahan angka.

Mungkin timbul fikiran, bahwa beberapa sembahyang wajib, apalagi berbuka puasa, *disunatkan menyegerakannya;* berhubung dengan itu, pengunduran awal waktu tanpa alasan hisab yang kuat, tidak dapat dianjurkan. Dizaman sekarang dengan siaran radio yang amat umum, sehingga memudahkan mengetahui waktu yang tepat, dan dengan pemakaian arloji yang merata, tidak usah dipertimbangkan, bahwa akan banyak orang yang sembahyang sebelum waktu, disebabkan arloji mereka jalannya terlalu cepat.

Selain daripada itu, menurut hadits, barang siapa yang dapat satu rakaat sembahyang dalam waktu, maka ia telah mendapat sembahyang

itu seluruhnya. Terbukti, bahwa batas-batas waktu sembahyang rupanya amat tajam. Dan waktu yang terdaftar dalam jadwal harusnya tidak hanya merupakan awal waktu, tetapi juga akhir waktu bagi sembahyang yang terdahulu (kecuali dhuhur). Oleh karena itu, ihtijaathi hanya dipakai sebanyak yang benar-benar dapat dipertanggung-jawabkan saja.

Sebetulnya ihtijaathi ada 3 macam :

1. buat luasnya daerah
2. buat koreksi sesatan dalam hasil hisab;
3. buat keyakinan.

Yang dimaksud dengan ihtijaathi buat keyakinan misalnya ialah, bila waktui imsaak (puasa) dimajukan beberapa menit dari awal shubuh (ada yang mengambil 5 menit, ada yang 10 menit dan ada yang 15 menit, yaitu menurut keyakinan masing-masing). Begitu pula, bila pada pemakaian jadwal yang sesungguhnya, awal waktu diundurkan 1 atau 2 menit dari waktu yang terdaftar, sekedar untuk menghilangkan keragu-raguan terhadap penunjukan arloji atau jam. Atau bila waktu dhuhur dianggap masuk setelah titik pusat matahari beberapa menit meninggalkan meridian.

Ihtijaathi buat sesatan dalam hasil hisab, bolehlah dianggap memadai, bila ditetapkan sebanyak 4 detik, yaitu jika syarat-syarat ketelitian dalam menentukan deklinasi matahari dan lintang tempat (sampai kesatuan menit busur) didapat dipenuhi. Kalau ada kesangsian terhadap salah satu unsur itu, maka ihtijaathi harus diambilkan lebih luas.

Memasukkan ihtijaathi buat luas daerah sebenarnya berarti memindahkan meridian yang kita pedomani ke batas sebelah Barat daerah hisab. Di sana ihtijaathi menjadi 0; tetapi di batas daerah sebelah Timur ihtijaathi menjadi sejumlah waktu yang sepadan dengan panjang garis Timur Barat daerah.

Misalnya : kita ambil suatu daerah yang lebar daerah hisab menurut arah Timur — Barat misalnya sampai 40 Km. maka bagi lintang 8°, itu berarti suatu perbedaan waktu sebanyak $\frac{40}{109,9} \times 4$ menit = 1 menit 27 detik. Akibatnya ialah :

bahwa orang dibatas sebelah Barat dengan memakai jadwal waktu, dapat memulai shalat tepat pada waktunya, tetapi orang dibatas bagian Timur selalu terlambat paling kurang $1^m\ 27^d$; jumlah itu, apalagi buat berbuka puasa, adalah jumlah yang harus dipertimbangkan juga.

Untuk menghindarkan perbedaan ihtijaathi jam terlalu besar, daerah hisab sebenarnya tidak boleh diambil terlalu luas. Bagi kebanyakan kota-kota ihtijaathi seluruhnya pada umumnya sudah mencukupi bila diambil 16 detik, yaitu 4 detik untuk koreksi hasil hisab, 12 detik buat luas daerah. Bila kita ambil sebanyak angka rata-rata panjang 1° parallel di Indonesia 110 Km, maka beda 12 detik dalam waktu berarti jarak Timur — Barat

sepanjang $\frac{12}{240} \times 110$ Km $= 5{,}5$ Km.

Batas daerah hisab paling Barat jaraknya $2 \times 5{,}5$ Km $= 11$ Km dari batas paling Timurnya. Bila sebagian meridian Hisab kita ambil meridian batas daerah hisab paling Barat, ihtijaathi luas daerah menjadi 0, dan ihtijaathi yang diperhitungkan tinggal lagi sebanyak 4^{detik}, yaitu ihtijaathi terhadap hasil hisab.

Berhubung dengan penetapan ihtijaathi yang mungkin berbeda-beda itu, sebaiknya pada setiap jadwal waktu sembahyang dinyatakan *meridian hisab yang dipedomani* dan *jumlah ihtijaathi minimum yang diperhitungkan*.

Bila sebagai ihtijaathi minimum diambil misalnya 16^d maka ihtijaathi maksimum menjadi $1^m\ 15^d$. Contohnya :

$18^j 24^m\ 44^d$ dijadikan $18^j 25^m$; ihtijaathi 16 detik;

$18^j 24^m\ 45^d$ dijadikan $18^j 26^m$; ihtijaathi $1^m\ 15^d$.

Sekarang kita tuliskan rumus buat waktu sembahyang yang didaftarkan dalam jadwal, yaitu :

rumus XXIX $$W_d = t + 12^j - e + (b_d - b_t) + i$$

W_d = waktu daerah; t = sudut waktu matahari; e = perata waktu; b_d = bujur meridian daerah; b_t = bujur tempat; i = ihtijaathi. Hubungkan dengan rumus (15) dan (17).

Buat waktu syuruq sebagai akhir waktu shubuh, i bertanda negatif (—).

Berhubung dengan pemakaian ihtijaathi, daftar maghrib dan syuruq adakalanya berbeda dengan daftar umum buat terbit dan terbenam matahari, yang tidak memakai ihtijaathi, tetapi melakukan pembulatan kepada menit yang penuh menurut cara yang lazim. Demikian pula awal dhuhur waktunya dapat berbeda dengan waktu kulminasi Matahari (mer. pass) dalam Almanak.

Ihtijaathi hanya dipakai dalam soal-soal yang berhubungan dengan ibadat; bagi keadaan-keadaan lain seperti menentukan lintang, menentukan tinggi bulan dan lain-lain, ihtijaathi sebagai kita maksud tidak diperhitungkan.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Baker, Robert H. *Astronomy,* Toronto-New York-London, Fifth Edition, March 1950.
2. Bos, P.R. et al, *Atlas Der Gehele Aaarde,* J.B. Wolters-Groningen, Djakarta, 1957.
3. Freeman. G.S.P. et al, *The Muslim and Christian Calendars,* London-New York-Toronto, 1963.
4. Jurdak, Mansur Hanna, *Astronomical Dictionary* The Zodiac & The Constallations, Beirut, 1950.
5. Hynek, J. Allen, *Challenge of the Universe,* Washington, D.C., July, 1962.
6. Marsito, *Kosmogrfi Ilmu Bintang bintang,* Jakarta, 1960.
7. Nassau J.J., *Practical Astronomy,* Second edition, New York 1948.
8. Smith, F. Graham. et al, *Nautical Almanac,* London, 1970.
9. Smart, W.M., Textbook on *Spherical Astronomy,* New Delhi Bombay -Bangalare-Calcutta-Kanpur.
10. Thiel, Rudolf, *And there was Light,* New York, May 1960.

BIODATA

Abdur Rachim, lahir di Panarukan pada tanggal 3 Februari 1935 M.

Tamat Fakultas Syari'ah IAIN Sunan Kalijaga Yogyakarta pada bulan April 1969 M. sebagai sarjana teladan dan mendapatkan lencana "Widya Wisuda".

Pada tahun 1982 M. mengikuti Studi Purna Sarjana (SPS) dan dapat menyelesaikannya sebagai peserta teladan.

Kariernya sebagai pendidik dimulai sejak ia sebagai mahasiswa tingkat doktoral, dipercaya sebagai asisten H. Saadoe'ddin Djambek dalam mata kuliah Ilmu Falak, sejak tahun 1965 M. Pada tahun 1972 M. diangkat sebagai dosen tetap dalam mata kuliah Tafsir, sesuai dengan jurusannya.

Kegemarannya mempelajari Ilmu Falak mewarnai kegiatan ilmiahnya sehari-hari, sehingga ia diangkat sebagai Ketua Lembaga Hisab & Ru'yah sejak tahun 1972 M.

Jabatan yang pernah ia pegang, yaitu :

Tahun 1972 M. sebagai Ketua Jurusan Tafsir Fakultas Syari'ah IAIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
Tahun 1976 M. diangkat sebagai Wakil Dekan Bidang Akademis Fakultas Syari'ah IAIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
Tahun 1981 M. diserahi tugas sebagai Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Syari'ah IAIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Meskipun kariernya sehari-hari di Fakultas Syari'ah sebagai dosen Tafsir, tapi karier amatirnya memperdalam Ilmu Falak masih terus berjalan, sehingga pada 1978 M. setelah H. Saadoe'ddin Djambek meninggal, ia diserahi tugas untuk melanjutkan tugas gurunya sebagai wakil ketua Badan Hisab & Ru'yah Departemen Agama Pusat. Karier amatirnya inilah yang menghantarkan dia sempat menghadliri Komperensi Islam di Istambul pada 1978 M. dan selanjutnya pada tahun 1981 M. ia dikirim lagi sebagai delegasi Indonesia menghadliri Komperensi Islam di Tunis. Kemudian atas kepercayaan Menteri Agama, beliau diutus lagi menghadliri Konperensi Islam Internasional di Al Jazair, pada 1982 M.

Kegiatannya dalam bidang Tafsir juga tumbuh dengan suburnya, ternyata dia dipercaya sebagai anggota penyusun Al Qur'an dan Tafsirnya sejak tahun 1974 M.

Guru-gurunya yang memberi warna bagi kariernya, ialah :

1. Prof. Dr. T.M. Hasbi Ash Shiddieqy,
2. Prof. Dr. H. Muchtar Yahya,
3. H. Saadoe'ddin Djambek,
4. Ṣa'id Thalib,
5. Shaleh Haedarah.

Sedangkan karya-karya ilmiahnya, antara lain :

1. Ilmu Falak,
2. Evaluasi terhadap Hijrah Rasul,
3. Risalah Isra Mi'raj Nabi Muhammad s.a.w.
4. Tafsir Isyariy,
5. Kisah Adam dalam Al Qur'an,
6. Kalender Islam Internasional,
7. Penghuni Surga,
8. Sepuluh Wasiat Tuhan dalam Al Qur'an,
9. Syi'ah Itsna 'Asyriyah dan Tafsirnya,
10. Tafsir Multi Dimensi,
11. Interaksi antara Tafsir dan Perkembangan Pikiran manusia,
12. Manusia menurut Imam Ghazali,
13. Filsafat Al Farabi,
14. Qasim Amin dan Emansipasi Wanita.

dan masih banyak lagi tulisan-tulisan beliau yang termuat dalam majalah-majalah atau yang tertuang dalam seminar-seminar dan musyawarah-musyawarah kerja, yang antara lain paper tentang pola-pola penentuan awal bulan qamariyyah yang dibacakan pada konperensi Islam di Istambul, karyanya yang satu ini tersebar luas di seluruh negara Islam, dalam tiga bahasa; bahasa Indonesia, bahasa Inggris dan bahasa 'Arab.

Di samping itu beliau juga sebagai dosen yang ikut membina mahasiswa di fakultas Syari'ah Universitas Islam Indonesia (UII), dalam mata kuliah Ilmu Falak dan Ahkamul Qadla. Tugas ini dilakukan sejak tahun 1972 M., tanpa putus-putusnya hingga sekarang.

Yogyakarta, 17 Agustus 1983.

Penerbit